

KONSTANTIN KHOSS

2020

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

DIPLOMARBEIT

ALGORITHM-AIDED DESIGN WITH BIM

RAHMENWERK FÜR EINE BIM-FÄHIGE APPLIKATION ZUR
GENERIERUNG VON MODULAREN WOHNGEBÄUDEN
IN FRÜHEN PLANUNGSPHASEN



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

ALGORITHM-AIDED DESIGN WITH BIM
Rahmenwerk für eine BIM-fähige Applikation zur
Generierung von modularen Wohngebäuden
in frühen Planungsphasen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung
des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs/einer Diplom-Ingenieurin
unter der Leitung

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Iva Kovacic
und

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Sophia Pibal

E 234

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
FOB für Integrale Bauplanung und Industriebau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung
von

Konstantin Khoss
01225927

Wien, am 25.5.2020

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht wie die Kombination von Building Information Modelling (BIM) und Algorithm-Aided Design (AAD) den Entwurfsprozess in frühen Planungsphasen optimieren kann. Anhand des Bautyps des mehrgeschossigen Wohnbaus wird ein Rahmenwerk entwickelt, welches ein generatives und modular aufgebautes BIM-Modell erzeugt und bewertet.

Das Kernstück bildet ein mit der Software Dynamo entwickeltes Skript, das die algorithmischen Abläufe verarbeitet und durch gewählte Parameter ein BIM-Modell in der Software Revit generiert. Zuerst wird der Wohnbau in seine elementaren Bestandteile gegliedert. In einem zweiten Schritt werden die erzeugten Daten aus dem BIM-Modell extrahiert und anhand von Effizienzkriterien bewertet. Das konzipierte System erlaubt einen iterativen Prozess und ermöglicht dadurch einen effizienten Entwurfsverlauf.

Anhand einer vergleichenden Fallstudie wurde das Skript schließlich getestet. Das Resultat zeigt, dass der Einsatz von durch Algorithmen gestütztem BIM eine Steigerung der Effizienz in frühen Planungsphasen ermöglicht. Das Ausmaß der Optimierung steht dabei in direktem Zusammenhang mit der modularen Gliederung des Projekts.

Abstract

This thesis examines the impact of Algorithm-Aided Design (AAD) methods, coupled with Building Information Modelling (BIM) on the process optimisation in early design stages. Based on the building type of a multi-story residential building, a framework is developed, that generates and evaluates an algorithmic and modular BIM model.

The core is built by a designed script in the software Dynamo, which processes an algorithmic workflow and generates a BIM model in the software Revit using the set parameters. For this purpose, the residential building is divided into its elementary components. In a second step, the data generated is extracted from the BIM model and evaluated using efficiency criteria. The designed system allows an iterative process and thereby enables an efficient development of design.

The developed script was afterwards tested within a comparable case study. Its result proofs that the use of Algorithm-Aided Design with BIM enables an increase in efficiency in early design stages. In this case the extent of the optimisation is directly related to the modular structure of the project.

Inhalt

KURZFASSUNG	5
ABSTRACT	5
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9

Einleitung 10

Analyse und Stand der Technik 13

1.1.	MODULARE BAUWEISE	15
1.1.1.	Modular und Seriell	15
1.1.2.	Modul- und Elementbau	16
1.2.	LEISTBARER WOHNBAU	19
1.2.1.	Kosten und Qualität	19
1.2.2.	Planung	20
1.2.3.	Standardisierung	20
1.2.4.	Schnittstellenreduktion	21
1.3.	BUILDING INFORMATION MODELLING UND ALGORITHM-AIDED DESIGN	22
1.3.1.	BIM als Planungstool	22
1.3.2.	Algorithm-Aided Design und Parametrisches Design	23
1.3.3.	Algorithm-Aided BIM	24
1.3.4.	Visual-Programming-Tools	25
1.3.5.	Referenzen mit Algorithm-Aided Design	27

Forschungsdesign 29

2.1.	FORSCHUNGSZIEL	31
2.2.	FORSCHUNGSUMFELD	32
2.3.	VORGEHENSWEISE	33

Modellbildung 35

3.1.	SOFTWARE	36
3.1.1.	Revit	36
3.1.2.	Dynamo	37
3.1.3.	Alternative Software	38
3.1.4.	Software-Workflow	39
3.1.5.	Entwurfsprozess mit Algorithm-Aided BIM	41
3.2.	WOHNBAU: RELEVANTE PARAMETER	43
3.2.1.	Bestandteile des Wohnbaus	43
3.2.2.	Konstruktion	43
3.2.3.	Erschließung	46
3.2.4.	Wohnungsgrundrisse	47
3.2.5.	Fassade	50
3.2.6.	Freiraum	50
3.2.7.	Prozess-Schema: Wohnbau generieren	51
3.3.	AUSWERTUNG: RELEVANTE PARAMETER	56
3.3.1.	Grundlagen für Bewertungskriterien	56
3.3.2.	Bewertungskriterien für ALBIS	58
3.3.3.	Bewertungssystem	63
3.3.4.	Prozess-Schema: Auswertung generieren	63
3.4.	PARAMETER DER MODELLBILDUNG	67

Algorithm-Aided BIM Skript: ALBIS 69

4.1.	SCHRITT EINS: ERSTELLEN DES ALGORITHMISCHEN BIM-MODELLS	71
4.1.1.	Arbeitsumgebung	71
4.1.2.	Grundgerüst	72
4.1.3.	Konstruktion	72
4.1.4.	Erschließung	74
4.1.5.	Wohnungen	74
4.1.6.	Fassade	76
4.1.7.	Freiräume	78
4.2.	SCHRITT ZWEI: AUSWERTUNG DES ALGORITHMISCHEN MODELLS	81
4.2.1.	Flächenbewertung	81
4.2.2.	Energiebewertung	84
4.2.3.	Kostenbewertung	85

4.2.4.	Flexibilität	86
4.2.5.	Vorfertigungsgrad	87
4.2.6.	Gesamtbewertung	87

Vergleichende Fallstudie 89

5.1.	EVALUIERUNGSGRUNDLAGEN	91
5.1.1.	Aufbau der Fallstudie	92
5.1.2.	Bauaufgabe	92
5.2.	FALLSTUDIE A	95
5.2.1.	Grundlagen	95
5.2.2.	Modell generieren	99
5.2.3.	Auswertung generieren	111
5.3.	FALLSTUDIE B	117
5.3.1.	Grundlagen	117
5.3.2.	Modell generieren	119
5.3.3.	Auswertung generieren	134
5.4.	ERGEBNIS	139
5.4.1.	Vergleich der Modellierung	139
5.4.2.	Vergleich der Auswertung	141
5.4.3.	Reflexion	143

Conclusio 147

Anhang 153

Anhang 1:	Dynamo-Skript – Grundgerüst generieren	154
Anhang 2:	Dynamo-Skript – Grundgerüst aus Excel	160
Anhang 3:	Dynamo-Skript – Konstruktion generieren	166
Anhang 4:	Dynamo-Skript – Erschließung generieren	172
Anhang 5:	Dynamo-Skript – Wohnungen und Fassade generieren	178
Anhang 6:	Dynamo-Skript – Freiräume generieren	188
Anhang 7:	Dynamo-Skript – Auswertung generieren	194
Anhang 8:	Anmerkungen zum Skript in Dynamo	197

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	198
------------------------------	-----

LITERATURVERZEICHNIS	203
-----------------------------	-----

DANKSAGUNG	207
-------------------	-----

Abkürzungsverzeichnis

AAD	Algorithm-Aided Design. Durch Algorithmen gestütztes Design beschreibt Methoden, die, mittels algorithmischer Logik und generativen Prozessen, eine Programmierung in ein kreatives System integrieren. (Österlund, 2013)
AAB	Algorithm-Aided BIM. AAB beschreibt die Kombination von AAD mit BIM. Es vereint generative Entwurfsprozesse mit der Erstellung von Objekten mit Metadaten. (Humppi und Österlund, 2016)
AEC	Architecture, Engineering and Construction. Die AEC Industrie besteht aus den drei Disziplinen Architektur, Ingenieurwesen und Konstruktion, die gemeinsam an der Planung und Umsetzung von Bauvorhaben beteiligt sind.
BIM	Building Information Modelling. BIM ist eine Sammlung von miteinander interagierenden Regeln, Prozessen und Technologien, die eine Methodik zur Verwaltung des wesentlichen Gebäudeentwurfs und dessen Projektdaten in digitaler Form während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes ermöglichen. (Succar, 2009).
CAD	Computer-Aided Design. Computergestütztes Entwerfen hat seine Ursprünge in den 1960er Jahren und beschreibt ein digitales System, das ein intelligentes Modell erzeugt, welches durch Ansichten und Kontrollwerkzeuge in sich verknüpft ist. Erst in den frühen 1980er Jahren wurde die Technologie für eine größere Gruppe an Anwendern zugänglich. CAD lässt sich historisch in 3 Zeitabschnitte unterteilen: 2D-Zeichnung, BIM & Design Computation. (Aish, 2013)

EINLEITUNG

Der Einsatz von computergestützten Arbeitsprozessen kann in allen Bereichen der AEC-Industrie (Architecture, Engineering and Construction) mitverfolgt werden. Das Planen und Umsetzen von Bauprojekten ohne diese Methoden ist sehr selten geworden. Mit Building Information Modelling (BIM) steht der Planung ein Werkzeug zur Verfügung, das eine umfassende Analyse, Simulation und Bewertung eines Bauvorhabens ermöglicht und dieses als modellierten digitalen Zwilling im gesamten Lebenszyklus begleiten kann. In frühen Planungsphasen steht dieses Konzept vor einer besonderen Herausforderung. In diesen Phasen, die den größten Einfluss auf das Projekt und dessen Effizienz haben, stehen eine Vielzahl an Variablen offen, die es zu überprüfen gilt, um das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss führen zu können. Damit sind meist das umfassende Erarbeiten und Prüfen von Varianten und Versuchen verbunden. Verschiedene Parameter werden mit unterschiedlichen Werten besetzt, um die daraus resultierenden Ergebnisse zu überprüfen und mit den Ergebnissen, die durch andere Werte hervorgerufen wurden, zu vergleichen. Um derartige Abläufe zu optimieren, können algorithmische Prozesse eingesetzt werden, die manuelle Abläufe ersetzen. Seit ein paar Jahren unter der Bezeichnung Algorithm-Aided BIM (AAB) bekannt (Humppi und Österlund, 2016), bildet die Kombination von BIM und algorithmischem Design einen Hybrid, der die Vorteile beider Konzepte zu einem effizienteren Werkzeug vereint. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Entwurfsprozess mit AAB entwickelt und im Zuge dessen werden die Möglichkeiten dieses Prinzips geprüft.

Jede Bauaufgabe weist abhängig von ihrer Nutzung unterschiedliche Anforderungen und daraus resultierende unterschiedliche Parameter auf. Das entwickelte Skript wird daher anhand einer konkreten Bauaufgabe konzipiert. Es gibt Bautypen die eine höhere Prozessoptimierung erlauben als andere. Neben Bürobauten ist der mehrgeschossige Wohnbau, durch seine wiederkehrenden Elemente, ein prädestinierter Nutzungstypus für eine Automatisierung in der Entwurfsphase. Durch eine modulare Bauweise sowie den seriellen Einsatz von vorgefertigten Elementen sollen zusätzlich Kosten und Ressourcen gespart werden. Die Basis dieser Arbeit wird deshalb in einer vorausgehenden Analyse des modularen Wohnbaus und den aktuellen Ansätzen zu leistbarem Wohnbau gelegt. Außerdem werden die Bereiche rund um Algorithmus gestütztes Design und BIM erläutert und deren Möglichkeiten der Anwendung in der Planung aufgezeigt.

Darauf aufbauend wird die Arbeit von der Frage geleitet, inwiefern AAB die frühen Planungsphasen eines Wohnbaus optimieren kann.

Um dies zu beantworten, wird ein Skript entworfen, das auf den Parametern des Wohnungsbaus fundiert. Die Umsetzung erfolgt schließlich mit jener Software, die bereits in der AEC-Industrie verbreitet ist.

Abschließend wird der entwickelte Entwurfsprozess anhand zweier Projekte, die unabhängig von dieser Arbeit entworfen wurden, getestet. Die resultierenden Erkenntnisse aus diesen Fallstudien sollen Aufschluss über die aktuellen Möglichkeiten mit AAB in den frühen Planungsphasen geben und zu einer fortlaufenden Auseinandersetzung mit der Thematik anregen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



K A P I T E L E I N S

ANALYSE UND STAND DER TECHNIK

In diesem ersten Abschnitt wird die Ausgangssituation für das modulare Planen, allgemein und speziell in Bezug auf den Wohnbau, beschrieben und analysiert. Der mehrgeschossige Wohnbau wird auf seine Parametrisierbarkeit untersucht. Außerdem wird der aktuelle Stand der Technik im Bereich des parametrischen und algorithmischen Designs erfasst und beschrieben welche Ansätze es mit diesen Methoden bereits in Bezug auf eine modulare Planung gibt.

1.1. Modulare Bauweise

1.1.1. Modular und Seriell

Um den modularen Wohnbau erörtern zu können, muss zunächst bestimmt werden wie modulare und serielle Bauweise definiert wird. Modularität beschreibt im Allgemeinen etwas großes Gesamtes, das aus einzelnen Elementen besteht (Osterloh und Frost, 2006). Diese einzelnen Elemente werden Module genannt. Sie können in ihren Eigenschaften (Form, Abmessung, Bestandteile) gleich sein, gewisse Ähnlichkeiten aufweisen oder auch gänzlich verschieden sein (Russel, 2018).

Albert Farwell Bernis, ein amerikanischer Ingenieur und Unternehmer, beschäftigte sich 1921 bereits mit der Koordinierung von Baumaterialien, um die damals vorherrschenden unökonomischen Baumethoden zu verändern und somit Kosten zu sparen und die Qualität zu steigern. Die Ergebnisse seiner Arbeit dienten als Grundlage für die Standardisierung erster Bauelemente wie Ziegel oder auch Fenster. Im Jahr 1957 wurde dann die Einhaltung einer modularen Bauweise für kostengünstigen Wohnbau im Wohnbaugesetz der USA vorgeschrieben. (International Housing Service, 1958) Bernis' Herangehensweise, ein Modul als Maßeinheit vorzuschlagen (Abb. 1), legte die Basis für ein Umdenken bei der Herstellung von Baumaterialien – und den damit verbundenen Bauprozessen – im industriellen Wohnungsbau in den USA und später auch in Europa.

In der AEC-Industrie setzt sich der Begriff des Moduls vor allem in Zusammenhang mit vorgefertigten Bauelementen durch. Das Gebäude (oder ein Teil davon) setzt sich folglich aus einzelnen Modulen zusammen, wobei nicht definiert ist, woraus diese Module bestehen. Ein Modul, im Sinne eines Elements, das wiederum einzelne Bestandteile aufweist, kann sowohl eine Wand, eine Decke, ein Raum, eine Wohnung oder ein gesamtes Geschoss sein. Diesem Prinzip folgend besteht jedes Bauwerk aus einzelnen Modulen. Diese Elemente werden, wenn sie öfter eingesetzt werden, als serielle Elemente bezeichnet. Je häufiger dies geschieht, desto mehr gewinnt der Begriff „seriell“ an Bedeutung. Mit dem Begriff „modulares Planen und Bauen“

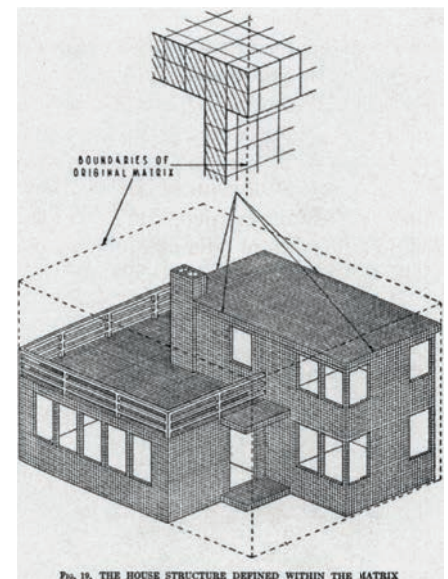


Abb. 1: Würfelmodule als Grundlage der Gebäudestruktur; aus Albert Farwell Bernis „The Evolving House: Volume III: Rational Design“

wird die Optimierung von Bauteilen und Abläufen, durch das wiederholte (serielle) Einsetzen von Elementen, bezeichnet, wodurch idealerweise Zeit und Kosten eingespart werden können. Die Grundidee dahinter ist, gleiche Arbeitsabläufe, die sich wiederholen, zusammenzufassen und zu automatisieren (Schütte, 2018).

Bezogen auf die Errichtung von modular strukturierten Bauwerken müssen solche seriellen Prozesse in serielle Planung und serielle Fertigung unterteilt werden. Denn in beiden Teilbereichen gibt es Möglichkeiten der Optimierung durch iterative Arbeitsschritte.

1.1.2. Modul- und Elementbau

Die Modulbauweise beschreibt ein System der Elementierung, in dem ein bestehendes Ganzes, wie etwa ein Gebäude, eine bestimmte Menge an Einzelteilen umfasst. Dabei werden ganzheitliche, systematische Betrachtungen des Planens und Bauens angestrebt. Im Modulbau sind Planung, Ausschreibung, Produktion, Montage und Nutzung unter Berücksichtigung von Raumgrößen und ihren Zusammenhängen, ihrer modularen Anordnung und der daraus resultierenden geometrischen Festlegung, Elementabmessungen und Lagebeziehung sowie Fügetechniken in einer übergeordneten Gesamtheit aufeinander abgestimmt (KOEN TU Graz, 2020). In Bezug auf die Vorfertigung der einzelnen Elemente kann zwischen Element- und Modulbau unterschieden werden. Während eine elementbasierte Vorfertigung vorwiegend zweidimensionale Bauteile vorsieht, ist mit einer modulbasierten Vorfertigung das Erzeugen von dreidimensionalen Raummodulen gemeint (Benze et al, 2019).

Nachstehend werden die einzelnen Arbeitsschritte, die im Zuge einer modularen Bauweise entstehen, beschrieben. Die Erläuterungen geben einen Überblick über die wesentlichen Aspekte der Aufgaben. Eine tiefergehende Beschreibung dieser Bereiche wäre nötig, um alle Zusammenhänge der Vorfertigung zu erfassen. Für den Hauptteil dieser Arbeit sind sie jedoch nur von untergeordneter Relevanz.

Produktion

Durch den Einsatz eines Systems aus Elementen können der Bauprozess und die damit verbundenen Produktionsvorgänge automatisiert werden. Eine vorhergehende Fertigung von Bauteilen im Werk ermöglicht eine witterungsunabhängige Vorbereitung unter idealen Konditionen (Proholz Austria, 2011). Gleichzeitig kann das Grundstück erschlossen oder die Fundamente gesetzt werden. Durch die Vorfertigung ergeben sich jedoch zusätzliche logistische Aufgaben von der Lagerung und dem Transport zur Baustelle bis hin zur Montage vor Ort.

Lagerung

Nach der Produktion folgt die Lagerung der vorgefertigten Elemente oder Module. Ein gut abgestimmter Produktions- und Lieferplan ermöglicht kurze Lagerzeiten und reduziert deren Kosten. Ebenso müssen für die benötigten Dauer der Lagerung verfügbare Lagerplätze eingeplant werden (Meuser und Meuser, 2018).

Transport

Ein entscheidender Faktor bei der Dimensionierung der Module und Elemente ist die Transportmöglichkeit. Übliche Modulgrößen reichen in der Breite von 2,625 – 4,00m, in der Länge von 7,75 – 16,75m und in der Höhe von 3,20 – 3,90m (Lauer, 2016). Einschränkungen möglicher Maße ergeben sich einerseits durch die Größe der Transportmittel, wie Lastkraftwagen oder Zugwagons, andererseits aber auch durch Engstellen oder Neigungen am Transportweg. Abseits der üblichen Modulgrößen sind auch Sondergrößen möglich. Dabei ist eine Abwägung des Transportaufwands gegenüber einer Errichtung vor Ort und den damit verbundenen Kosten notwendig (Knaack et al, 2012).

Montage

Nach erfolgtem Transport werden die Fertigteile in einem raschen Montageprozess vor Ort errichtet. Der Ablauf der Montage erfordert eine sinnvolle logistische Planung. Große Bauteile müssen in der richtigen Reihenfolge geliefert, eventuell vor Ort gelagert und schließlich verbaut werden. Die Montage selbst ist aufgrund von wenigen klar definierten Schnittstellen einfach und kann oftmals auch von weniger geschultem Personal ausgeführt werden. Durch diese Maßnahmen ergibt sich nicht nur eine bessere Qualität der eingesetzten Bauteile, sondern auch eine kürzere Bauzeit und bei effizienter logistischer Umsetzung auch geringere Kosten. Zusätzlich ist auch die Demontage von Gebäudeteilen eine Option. Modulare Bauwerke haben außerdem eine ähnliche Lebensdauer wie Massivgebäude und erzielen damit insgesamt geringere Lebenszykluskosten (Lauer, 2016).

Gestaltungsvielfalt

Oftmals fällt im Zusammenhang mit modularem Bauen und Planen das Argument einer eingeschränkten kreativen Umsetzbarkeit und fehlender Gestaltungsvielfalt. Nicht zuletzt da die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entstandenen Großsiedlungen und in weiten Teilen Europas errichteten Plattenbauten unter Kritik standen, wurde auch die damit assoziierte serielle Bauweise zunehmend abgelehnt. Bis über die Jahrhundertwende hinaus werden Mängel in der Wohn- und Lebensqualität sowie fehlende Flexibilität und Monotonie, vor allem wegen des unflexiblen Einsatzes von massiven Stahlbeton-Elementen, mit seriellem Bauen in Verbindung gebracht (Staib, 2008). Die Abhängigkeit des Modulsystems von einem Raster bietet aber keine Einschränkung in der Gestaltung, sofern dieses richtig gewählt

Abb. 2: Axonometrie der Konstruktionselemente im Projekt Wohnregal (FAR frohn&rojas architekten)

Abb. 3: Freier Grundriss durch vorgespannte Deckenplatten im Projekt Wohnregal (FAR frohn&rojas architekten)

Abb. 4: Wohnregal Außenansicht (FAR frohn&rojas architekten; Foto: David von Becker)

Abb. 5: Wohnregal Innenraum (FAR frohn&rojas architekten; Foto: David von Becker)

ist. Innerhalb des Rasters gibt es beliebige Möglichkeiten der Anordnung der einzelnen Unterelemente und auch das Modulraster selbst kann ein variables System sein, das nach den unterschiedlichen Anforderungen durch Bauaufgabe und Bauplatz angepasst wird.

Aktuelle Projekte, wie das Wohnregal von FAR frohn&rojas architekten, zeigen, dass sich auch mit seriell produzierten Fertigteilen, die eigentlich für industrielle Zwecke produziert wurden und hier im Wohnbau angewandt wurden, eine gestalterische Vielfalt erreichen lässt. Der Einsatz von Betonfertigteilen (Abb. 2) wurde dabei bereits während der Entwurfsphase in Kooperation mit den Fachplanern der Produktionswerke analysiert. Durch die Zusammenarbeit konnten die Möglichkeiten des Systems ausgeschöpft werden. So wurde durch eine Spannweite von 13,5m ein stützenfreier Innenraum entworfen, der verschiedene Grundrisstypen zulässt (Abb. 3–5). Durch eine ausführlichere Vorplanung und Auseinandersetzung mit den eingesetzten Elementen können die Eigenschaften serieller Elemente vorteilhaft genutzt werden und eine Gestaltungsvielfalt fördern.

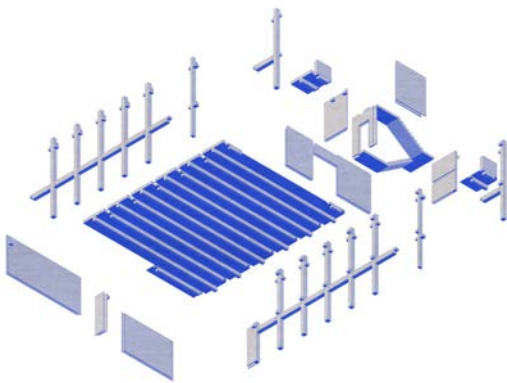


Abb. 2

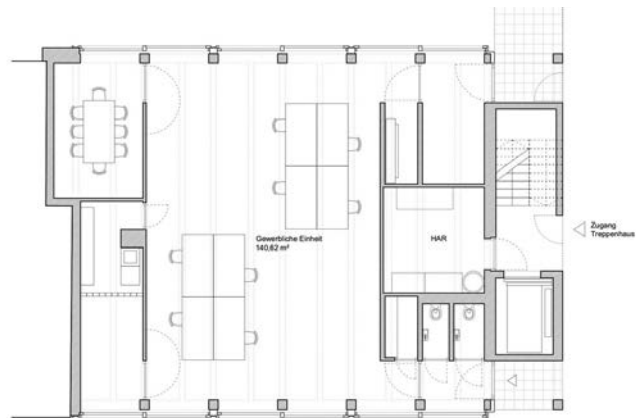


Abb. 3



Abb. 4



Abb. 5

1.2. Leistbarer Wohnbau

Den Bautypus Wohnbau leistbarer umzusetzen und gleichzeitig in kürzerer Zeit mehr Wohnraum zu schaffen, ist in den vergangenen Jahren zu einer wichtigen Herausforderung geworden. Großstädte müssen künftig mehr Wohnraum schaffen, um den steigenden Bevölkerungszahlen gerecht zu werden. Gleichzeitig soll der geschaffene Wohnraum günstiger vermietet werden können und folglich muss auch dessen Errichtung kostengünstiger verlaufen (Scharp, 2005). Durch die Anforderungen an Energieeffizienz, ökologischem und ökonomischem Bauen stehen diese Bauaufgaben bis heute vor großen wirtschaftlichen Herausforderungen. Studien, wie die Untersuchungen zu seriellem Wohnungsbau im Rahmen der IBA Berlin 2020 (Benze et al, 2019), versuchen mögliche Wege aufzuzeigen wie diese Aufgaben bewältigt werden können. Begriffe wie Standardisierung, Vorfertigung oder serieller Wohnungsbau fallen dabei. Welche Möglichkeiten sich für den Wohnbau anbieten um Kosten zu sparen und gleichzeitig Qualitäten zu erhalten oder zu schaffen, soll in diesem Kapitel erläutert werden.

1.2.1. Kosten und Qualität

Einen sehr kontrovers diskutierten Abschnitt des industriellen Wohnbaus bildet die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in weiten Teilen Europas verbreitete Planung und Errichtung von sogenannten Plattenbauten. Das Bedürfnis nach Wohnraum und gleichzeitigem, stark pragmatischem, Verlangen nach Effizienz und Wirtschaftlichkeit führte zu einer hohen Optimierung beim Errichten von Wohnbauten auf Kosten der Wohnqualität. Gegen Ende der 1970er Jahre erhielt der serielle Wohnungsbau eine sehr untergeordnete Rolle. Die entstandenen Großsiedlungen standen vermehrt unter Kritik und die damit assoziierte serielle Bauweise wurde zunehmend abgelehnt. Defizite in der Wohn- und Lebensqualität wurden mit seriellem Bauen in Verbindung gebracht (Staib, 2008). Diese sollten jedoch nicht die Folge von kosteneffizienter Planung und Ausführung sein. Um mögliche sinnvolle Einsparungspotentiale zu identifizieren, bedarf es einer genauen Analyse der einzelnen Kostenfaktoren und deren Auswirkungen auf das gesamte Projekt und dessen Qualität (Benze et al, 2019).

1.2.2. Planung

In „Zehn Parameter für einen kostengünstigen Wohnbau“ (Meuser und Meuser, 2018) werden optimierbare Bereiche der Planung vorgeschlagen, die die folgenden drei Aspekte als Grundlage vorsehen: Flächen reduzieren, Standards in Frage stellen und Bauteile seriell vorfertigen. Beginnend beim städtebaulichen Maßstab sollen Gebäude so positioniert werden, dass die Baustellenlogistik optimiert werden kann (Kranradius, Zu- und Abfahrten) und später die Nutzung der entstehenden Freiräume ebenso sinnvoll funktioniert. Im Grundriss können durch den Einsatz eines Rasters mit passenden Abständen die Elemente der Tragstruktur, der Versorgungselemente und Schächte sowie der Einbau von standardisierten Möblierungselementen effizient verknüpft werden. Die Verkehrsflächen können zugunsten von mehr Wohnfläche auf das notwendigste reduziert werden und durch Begegnungs- und Stellflächen ergänzt werden. Die einzelnen Wohnungsgrundrisse sollen für eine flexible Grundrissgestaltung offen bleiben und können auf die notwendigsten Wände reduziert werden, um auf unterschiedliche Nutzergruppen und deren individuelle Anforderungen sowie um auf die sich wandelnden gesellschaftlichen Präferenzen vorbereitet zu sein.

1.2.3. Standardisierung

Mittels Standardisierung einzelner Bereiche des Bau- und Planungsprozesses lassen sich Kosten nachweislich senken (Benze et al, 2019). Wichtig ist dabei jedenfalls zwischen einer standardisierten Planung und einer Standardisierung in der Produktion zu unterscheiden. In beiden Bereichen kann sich Standardisierung kostengünstig auf das Projekt auswirken, eine standardisierte Planung hat jedoch nicht zwangsläufig eine standardisierte Produktion zur Folge. Gleichzeitig ist anzumerken, dass eine effizientere standardisierte Planung keine unmittelbare Auswirkung auf die Gesamtkosten hat, da diese nach der Honorarordnung für Architekten (HOA; Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten, 2002) anhand der Baukosten berechnet wird. Mittels effizienter Planung können aber die Baukosten und somit auch die Planungskosten reduziert werden (Kempe und Thill, 2012).

Einen entscheidenden Faktor bei der Standardisierung in der Planung bilden deren ersten Phasen. Schon ab der Grundlagenermittlung soll eine enge Zusammenarbeit mit Fachplanern und der Bauindustrie gepflegt werden, da zu diesem Zeitpunkt Änderungen einfacher durchgeführt und damit Kosten gespart werden können (Barton et al, 2001; Abb. 6). In der Entwurfsplanung von Wohnbauten bietet die Iteration von Wohneinheiten in Funktion und Gestalt eine potentielle Einsparungsquelle. Dabei ist die Anzahl an gleichen Wohnungen der Größe des Projekts gegenüber zu stellen. Eine zu geringe Vielfalt durch Typisierung der Wohnungsgrundrisse wirkt sich negativ auf die Wohnqualität aus (Benze et al, 2019).

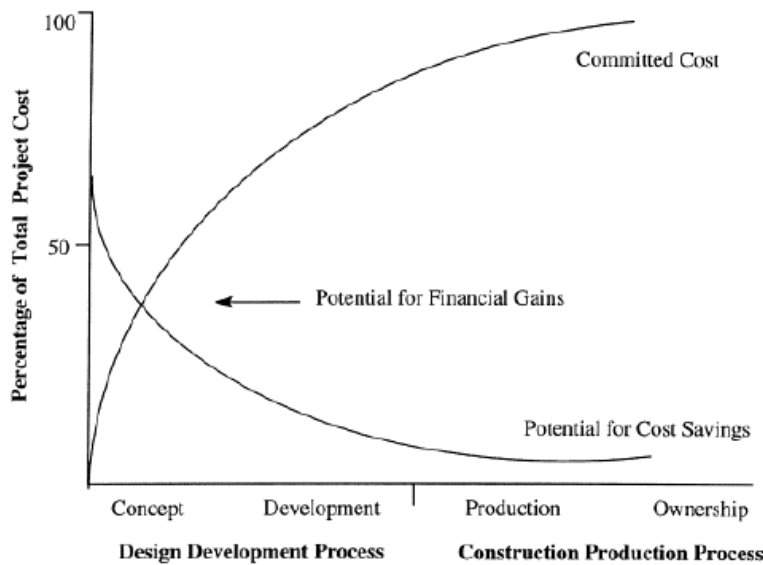


Abb. 6: Potential zur Kosteneinsparung in frühen Planungsphasen (Barton et al, 2001)

Die Produktion kann durch den Einsatz von Industrieprodukten und Vorfertigung einzelner Elemente standardisiert und damit optimiert werden. Mit einzelnen großen Bauteilen, die einen möglichst hohen Vorfertigungsgrad aufweisen, wird die Erzeugung des Bauwerks stückweise in Produktionshallen verlagert und weniger Arbeitsschritte (Montage) müssen auf der Baustelle verrichtet werden. Es ist wichtig bei der Planung das richtige Verhältnis zwischen vorgefertigten Elementen und vor Ort errichteten Bauteilen abzuwägen. Logistik, Lagerung, Transport & Montage müssen geprüft und kalkuliert werden. (Meuser und Meuser, 2018)

1.2.4. Schnittstellenreduktion

Eine weitere Maßnahme, die Kosten sparen und Qualitäten fördern kann, ist die Definition der Schnittstellen. Sowohl an der Planung als auch an der Ausführung sind unterschiedliche Fachkräfte beteiligt, die es zu koordinieren gilt. Umso mehr Schnittstellen zwischen den einzelnen Beteiligten entstehen, desto komplexer wird jeder Teil der Planung (Termine, Kosten, Gestaltung) und desto höher ist das Risiko, dass Konflikte, Fehler, Verzögerungen und damit auch zusätzliche Kosten entstehen. Daher scheint eine Reduktion der Schnittstellen auf ein notwendiges Minimum sinnvoll. Beispielsweise könnten nach der Vergabe der Bauleistungen dem planenden Architekten Leistungen der Bauausführung übertragen werden. Anstelle der Beauftragung einzelner Gewerke kann aber auch die Beauftragung eines Generalunternehmers genutzt werden, um eine strukturierte Arbeitshierarchie zu schaffen und Schnittstellen zu reduzieren. Bei einer Reduktion auf einige wenige Akteure ist immer zu beachten, dass diesen eine höhere Kompetenz zuschreiben ist, um keinen negativen Effekt auf die Qualität oder die Kosten zu erfahren. (Meuser und Meuser, 2018)

1.3. Building Information Modelling und Algorithm-Aided Design

1.3.1. BIM als Planungstool

In den vergangenen Jahren hat die AEC Branche, sowie viele andere gestalterische Sparten, große Veränderungen in Bezug auf die Methoden der Generierung und Darstellung von Daten und Informationen erfahren. Analoges Zeichnen von Plänen ist schon seit dem Aufkommen von CAD (Computer-Aided Design) nicht mehr die gängige Methode der Informationsdokumentation. Auch computergestützte Entwurfsprozesse befinden sich im Wandel. Laufend wird neue Software publiziert und es werden effizientere Methoden entwickelt, um den Planungsprozess zu optimieren. Die ersten Phasen der digitalen Planung waren noch sehr nahe am konventionellen Zeichnen mit Tusche und Papier, mit der Neuerung, dass mit Maus und Tastatur Linien, Texte und Schraffuren erstellt wurden. CAD war geboren (Abb. 7: Level 0). In weiterer Folge wandte sich die AEC Industrie zunehmend von 2D-Zeichnungen ab und zur 3D-Planung hin. Wände, Decken und andere Bauteile waren nun nicht mehr einfache und unabhängige Flächen in Grundriss und Schnitt, sondern konnten in einem dreidimensionalen Koordinatensystem verortet werden und wurden für die üblichen 2D-Plandarstellungen "geschnitten", um Grundrisse und Ansichten zu erzeugen (Level 1). Mit der Einführung des Building Information Modeling (BIM) wurden jene 3D-Elemente noch zusätzlich mit Informationen bestückt, die es ermöglichen, Daten im virtuellen Modell einzufügen und auszulesen (Level 2). Jede Disziplin kann somit verknüpfte Informationen, Mengen und Massen direkt aus dem Modell auslesen und mit anderen Fachplanern austauschen.

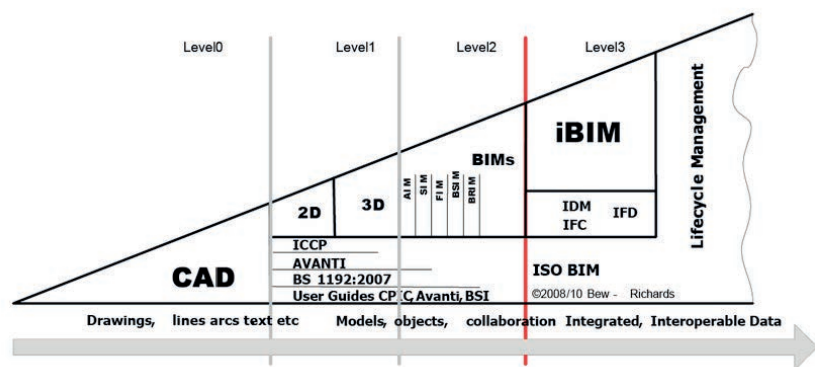


Abb. 7: BIM Maturity Model (Bew und Richards, 2008)

Mit fortschreitender Entwicklung hat BIM als Ziel, ein zentrales Modell des Bauvorhabens aufzubauen, auf das alle beteiligten Planer zugreifen können und die Planung somit in direkter und integraler Zusammenarbeit erfolgen kann (Level 3). (Aish, 2013)

Mit dieser Entwicklung geht eine Steigerung der Planungsmöglichkeiten aber auch des Planungsaufwandes einher (BIM Maturity Model; Abb. 7). Die Architekten gelten als erste Instanz, die ein solches Modell erstellen und dieses auch in ihrer koordinierenden Tätigkeit verwalten müssen.

1.3.2. Algorithm-Aided Design und Parametrisches Design

Algorithm-Aided Design (AAD) beschreibt eine Methode des Designens bei der Geometrien mittels Computercode erzeugt werden. Diese Geometrien besitzen dabei ausschließlich jene Informationen, die für ihre Formgebung notwendig sind (Österlund, 2013). Feist (2016) beschreibt „Algorithmic Design (AD)“ als programm-basierten Zugang zu Design wobei der Gestalter ein Programm erstellt, welches wiederum ein Modell generiert, das dem gewünschten Design entspricht. Dadurch sind mehr Möglichkeiten und Verbesserungen im Design-Prozess möglich als bei der manuellen Erstellung des Modells.

Zur Umsetzung solcher algorithmischer Design-Prozesse können verschiedene Programmiersprachen (engl. programming languages) genutzt werden. Zu unterscheiden sind visuelle Programmiersprachen (engl. visual programming languages, VPL), die mittels zweidimensionaler Darstellung einzelner Elemente eine interaktive Anpassung erlauben, sowie textuellen Programmiersprachen (engl. textual programming language, TPL), bei denen eine lineare Folge von Zeichen eine Programmierung erlaubt. Während keine der beiden Formen maßgebliche Vorteile gegenüber der anderen besitzt (Menzies, 2002), so bietet eine VPL vor allem für Anfänger einen leichteren Einstieg durch eine zweidimensionale grafische Darstellung der Programmabläufe (Leitão und Santos, 2011). Um visuelle Programmiersprachen anzuwenden, werden Graphical Algorithm Editors (GAEs) genutzt. Diese Editoren stellen Codebausteine visuell dar, die sich miteinander zu einer Kette an auszuführenden Programmteilen verknüpfen lassen. Weitere Informationen zu GAEs werden in Kapitel 1.3.4. erläutert.

Parametrisches Design nutzt objekt-orientiertes Modellieren, wobei die Objekte bestimmte Parameter besitzen, die verändert werden können und dadurch unterschiedliche Resultate hervorbringen. Das Parametrische Design folgt ebenfalls einer Kette von algorithmischen Befehlen, die ausgeführt werden, um das jeweilige Element zu konfigurieren. Somit muss

nicht jedes einzelne Objekt, das dieselben Eigenschaften trägt, erneut manuell erzeugt werden. Von einer zuerst gewählten Element-Klasse oder Element-Familie mit unterschiedlichen fixen und variablen Parametern können einzelne Objektinstanzen generiert werden (Eastman et al, 2011). Am Beispiel der Elementklasse „Wand“ könnten die Parameter Länge, Höhe und Dicke sein. Die Dicke könnte sich wiederum durch einzelne Parameter aus den unterschiedlichen Schichten ergeben, welche wiederum einen Material-Parameter zugewiesen bekommen. Auf diese Weise ist es möglich, rasch unterschiedliche Instanzen beziehungsweise Varianten eines Elements zu erzeugen, die dennoch einer gemeinsamen Element-Klasse angehören. Das endgültige Ergebnis wird demnach nicht direkt gezeichnet, sondern über regelbare Parameter entworfen und kann über diese angepasst werden.

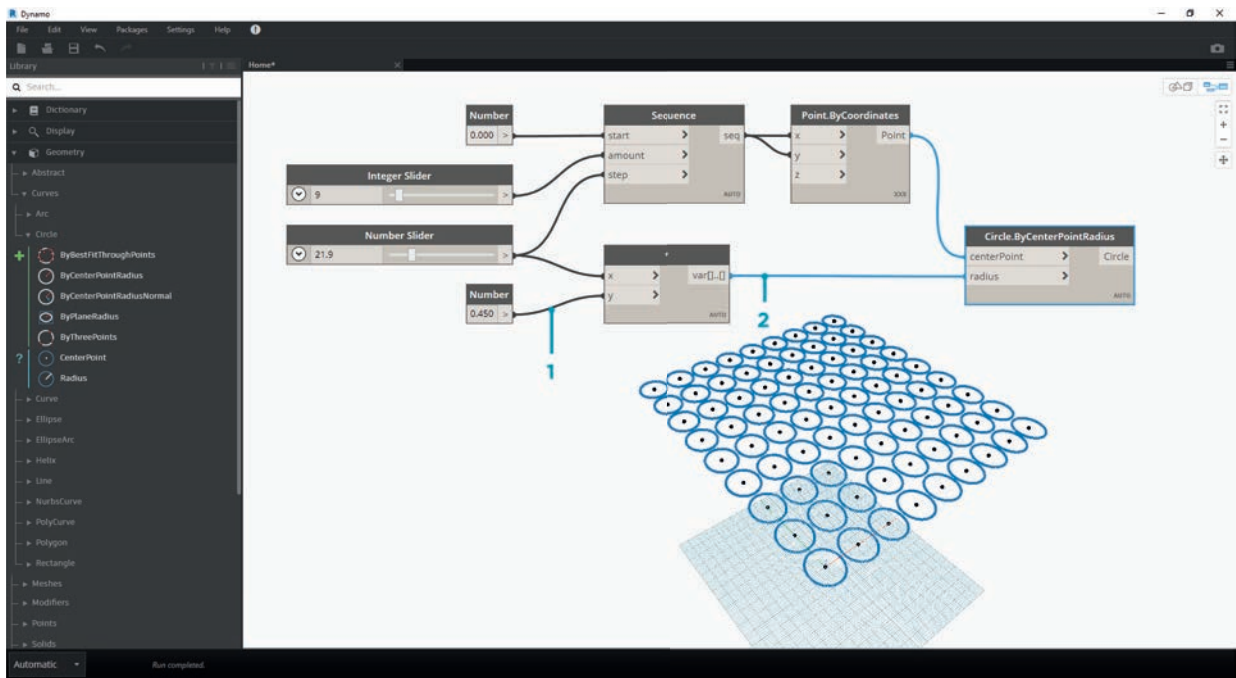
1.3.3. Algorithm-Aided BIM

Parametrisches Design ist in seiner grundlegenden Form in den gängigen BIM-Tools integriert. Wände, Decken, Fenster, Türen und andere Elemente werden durch eine Reihe von Parametern definiert und daraus lassen sich beliebig viele Instanzen dieser Grundelemente erzeugen. Lediglich der Schritt zur Verortung im Modell ist manuell zu tätigen. Dieses Prinzip könnte jedoch erweitert werden und den Designprozess mit zusätzlichen parametrischen bzw. algorithmischen Skripts vereinfachen:

*„Scripts allow designers to generate and control outcomes that would otherwise be too complex to handle by manual modeling“
– Humppi und Österlund, 2016.*

In Kombination können die Vorteile eines schnellen Generierens von Inhalten mittels algorithmischen Skripts genutzt werden und gemeinsam mit den Vorteilen eines BIM-Modells zu einer effizienteren Variantenbildung von mehreren BIM-Modellen gebracht werden. Die verknüpfte Form dieser beiden Entwurfsmethoden besitzt derzeit keine offiziell gebräuchliche Bezeichnung. Aish (2013) nennt diese Form „Parametric BIM“, Caetano und Leitão (2019) bezeichnen diese Methode als „algorithmic-aided BIM“ und Humppi und Österlund (2016) benennen diese in ihrer Arbeit „Algorithm-Aided BIM“ (AAB).

Das in dieser Arbeit erstellte Skript besteht zu gewissen Teilen aus erstellten Parametern. Da diese nicht direkt, sondern mittels algorithmischer Skripts angepasst werden, ist die Bezeichnung „algorithmic“ hier zutreffender. Die Terminologien „Algorithm-Aided BIM“ (AAB) und „Algorithm-Aided Design“ (AAD) werden daher im Folgenden übernommen.



1.3.4. Visual-Programming-Tools

Die offensichtlichste Methode AAD anzuwenden, wäre es, eine Fachkraft mit dessen Programmierung zu beauftragen. Derartige Programmierkenntnisse sind auch für Planer von steigender Bedeutung. Neben einer textlichen Programmierung mittel TLPs bieten Visual-Programming-Tools (Feist et al, 2016) die Möglichkeit, Programme als visuelles Skript zu konzipieren. Mittels Code-Bausteinen (Nodes), die aneinandergereiht und mit Kabeln (Wires) verknüpft werden, können algorithmische Design-Prozesse erstellt werden. In Graphical Algorithm Editors kann dieser visuell programmierte Code mit BIM-Tools verknüpft werden und ermöglicht eine objektorientierte Modellierung durch generierte Geometrien und Informationen aus AAD-Tools (Humppi und Österlund, 2016).

Die zwei bekanntesten GAEs sind Grasshopper, das als Plugin mit der 3D-Software Rhinoceros funktioniert und Dynamo (Abb. 8), welches zum Programmangebot von Autodesk gehört und als eigenständige Software funktioniert, aber auch als Plugin in der BIM-fähigen Software Revit mitgeliefert wird.

Abb. 8: Dynamo Benutzeroberfläche (Web URL <https://primer.dynamobim.org/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-2_wiring_programs.html>, 13.11.2019)

Abb. 9: Adaptiver Wohnungsgrundriss mit Finch3D

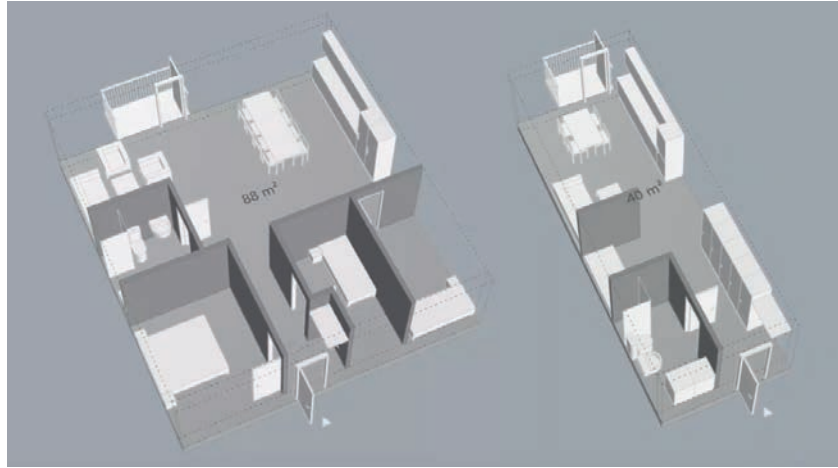


Abb. 10: Arbeitsoberfläche mit Finch in Rhinoceros 3D und Grasshopper (Web URL <<https://www.youtube.com/watch?v=X8tQ2XXt5w0>>, 02.10.2019)

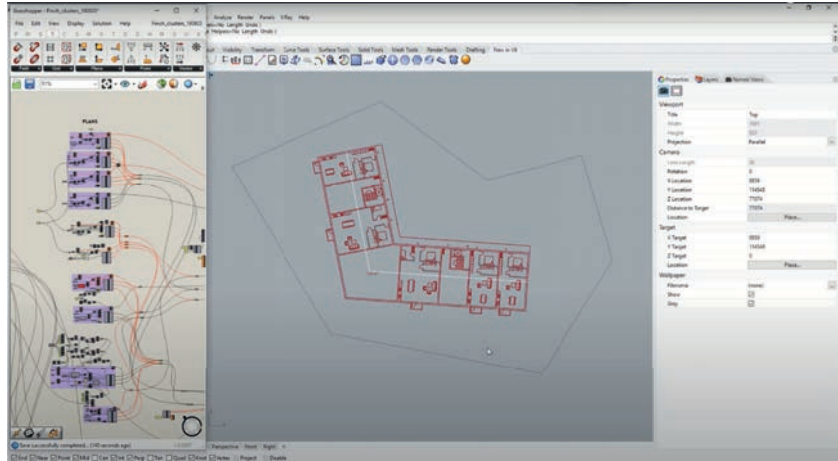
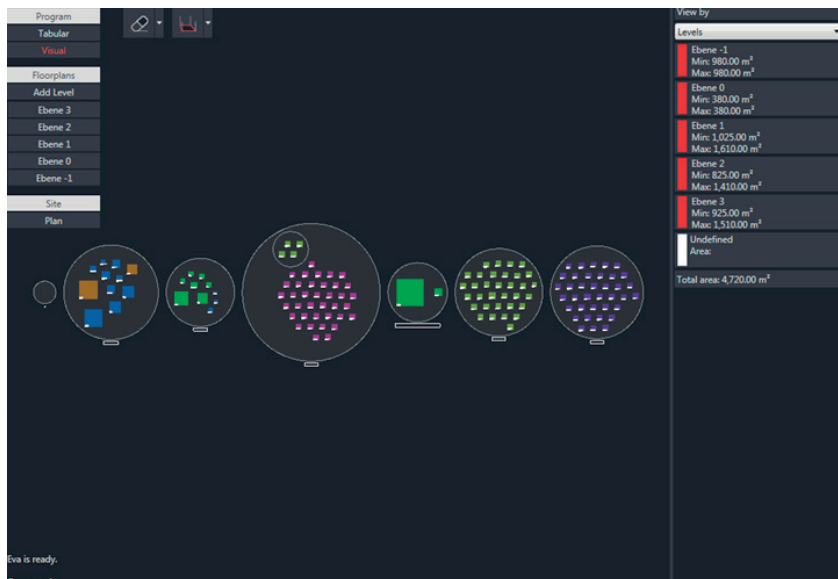


Abb. 11: Arbeitsoberfläche Eva (Web URL <<http://www.rapidlayouting.com/de/features/program>>, 02.10.2019)



1.3.5. Referenzen mit Algorithm-Aided Design

Algorithmus-gestütztes Design ist derzeit noch wenig verbreitet. Oft werden kleine Skripts oder Programme nur vereinzelt von verschiedenen Unternehmen oder Arbeitsgruppen zur internen Nutzung programmiert und angewandt. Bis dato hat sich BIM zwar bereits in der breiten Masse etabliert bringt jedoch noch einige Probleme mit sich, da sich noch kein einheitlicher Arbeitsprozess mit BIM durchgesetzt hat (Succar, 2009). Ein paar wenige Arbeitsteams haben es sich dennoch zur Aufgabe gemacht derartige Prozesse zu verbessern und entwickeln Werkzeuge, die auch anderen zur Verfügung stehen sollen:

Finch3D

Mit dem GAE „Grasshopper für Rhino“ entwickelt ein Team aus Schweden derzeit ein Skript, das es ermöglicht, Gebäude parametrisch und adaptiv zu generieren. Die Idee dabei ist sich mehr auf die äußeren Faktoren der Planung zu konzentrieren und die kleineren, sich oft wiederholenden, Arbeitsschritte von einem Skript erledigen zu lassen. Ein Wohnungsgrundriss soll somit nur über die Eingabe der Außenabmessungen generiert werden, da Mindestabstände zwischen der Möblierung und den Abmessungen der Räume die übrigen Variablen bereits definieren können (Abb. 9–10).

“Finch is parametric and everything designed with Finch will be responsive, meaning your designs will be able to fit and adapt to multiple locations and scenarios. This is a paradigm shift in architecture, leaving the static way of thinking behind and instead of creating independent designs we’re now looking at creating systems and families.” – Wallgren und Kretz, 2019

EVA – Rapid Layouting

Ein weiteres Programm, das den Entwurfsprozess unterstützen soll, ist EVA. Dabei handelt es sich um eine eigenständige Software, die es erlaubt, speziell in frühen Entwurfsphasen, mittels eines vorgegebenen Raumprogramms und anderen Parametern des Grundstücks, verschiedene Varianten zu generieren und so in einem interaktiven Prozess schneller zu einer Lösungsfindung zu gelangen. Gearbeitet wird dabei mit einer Raumliste in der den einzelnen Räumen Beziehungen zu anderen Räumen und Ebenen zugewiesen werden. Das Programm verarbeitet diese Informationen und gibt das Raumprogramm in einer klusterartigen Darstellung aus Flächen wieder (Abb. 11), wobei erste grundrissähnliche Formen entstehen, die in weiterer Folge auch manuell anpassbar sind.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



K A P I T E L Z W E I

FORSCHUNGS- DESIGN

2.1. Forschungsziel

Die vorangegangene Analyse zur aktuellen Situation des Wohnbaus und die Aufgabe diesen leistbarer, in kürzerer Zeit und trotzdem qualitativ zu realisieren zu können, zeigen einen klaren Trend. Um diese Ziele zu erreichen, bieten sich verschiedene Ansätze der Optimierung in Planung und Ausführung an. Jeder effizienten Ausführung muss eine effiziente Planung vorausgehen. Um die Planung effizienter zu gestalten, soll eine Reduktion des Arbeitsaufwands im Entwurfsprozess und eine schnellere Bewertung der Resultate erreicht werden. Insbesondere die frühen Phasen der Planung sind dafür geeignet tiefgreifende Änderungen im Entwurf zu tätigen und deren Auswirkungen auf die Qualität, die Kosten und die Effizienz im Lebenszyklus des Gebäudes zu prüfen. Der Entwurfsprozess und die damit einhergehende Lösungsfindung für Entwurfsprobleme lässt sich meist nur durch den Vergleich von Entwurfsvarianten bewältigen und gestaltet sich daher oft sehr umfangreich. Um auch die Ausführung (von Wohnbauten) zu optimieren, sollen vorgefertigte Elemente oder modulare Bauteile eingesetzt werden. Diese müssen ebenfalls schon in einer frühen Planungsphase fixer Bestandteil des Entwurfs sein. Eine Typisierung einzelner Gebäudeteile scheint daher sinnvoll.

Die Forschungsfrage zielt darauf ab diese Potentiale zu nutzen, mittels algorithmischer Prozesse zu automatisieren und die einzelnen Schritte im Entwurf auf die wesentlichen Eingaben zu reduzieren. BIM als grundlegendes Werkzeug zur Modellierung und Verarbeitung von Gebäuden und deren Informationen soll durch Algorithmus gestützte Prozesse ergänzt werden und den Entwurfsverlauf mit Algorithm-Aided BIM (AAB) optimieren. Die daraus resultierende Frage lautet:

Welchen Effekt hat die Integration von Algorithm-Aided BIM in den Entwurfsprozess der frühen Planungsphasen und können derartige Maßnahmen einen effizienteren Entwurfsabschluss erreichen?

Kernaufgabe des Rahmenwerks ist deshalb die Entwicklung eines Skripts das den Ablauf der BIM-fähigen Modellierung eines Entwurfes automatisiert und in einem zweiten Schritt die erzeugten Elemente und Informationen wiederum auf die gleiche Weise auswertet. Im Zuge dieses Ablaufs wird auch die eingesetzte Software (Revit, Dynamo, Excel) und deren Schnittstellen auf ihre Tauglichkeit geprüft. Dabei wird jedem Programm ein funktionaler Bereich des Skripts zugeordnet. Als Produkt dieses Skripts geht ein generiertes BIM-Modell sowie eine systematische Bewertung von diesem hervor. Das BIM-Modell steht damit für eine weitere Verarbeitung in den folgenden Planungsphasen zur Verfügung.

Das erstellte Skript trägt den Titel ALBIS, der als Akronym für „Algorithm-Aided BIM Skript“ steht. ALBIS ist als Hauptwerk dieser Arbeit anzusehen und kann zukünftig als Planungswerkzeug genutzt werden.

2.2. Forschungsumfeld

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Wohnen 4.0 – Digitale Plattform für leistbares Wohnen“ verfasst. Dieses Forschungsprogramm wird durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft unterstützt (FFG, Projektnummer: 873523). Schwerpunkt des Projekts ist unter anderem der Einsatz „BIM-basierter Planungstools und -verfahren für eine modulare Off-Site Produktion im Geschosswohnungsbau“, um eine mögliche „Material-, Kosten- und Zeiteffizienz“ zu erzielen und damit die „Produktion von leistbarem und innovativem Wohnbau“ zu ermöglichen. Dabei verknüpft die Forschungsarbeit zwei Bereiche: Der Bereich „BIM4D2P“ (BIM for Design to Production) bezieht sich vorrangig auf die Planenden, Bauunternehmen und produzierenden Unternehmen und der Bereich „PHD“ (Parametric Habitat Designer) richtet sich an NutzerInnen und Bauträger. Im Forschungsabschnitt „PHD“ soll eine „automatisierte Generierung und Visualisierung von Grundrissen und Gebäudeformen“ erfolgen und eine „automatisierte Berechnung der Investitionskosten und des Return-Of-Investment für Nutzer und Bauträger“ ermöglicht werden. Es wird das Ziel verfolgt durch eine digitale, BIM-basierte Planung, Modellierung und Optimierung eine Kosten- und Bauzeitreduktion sowie eine Individualisierung im Wohnbausektor zu erreichen.

Ein Teilprojekt dieser Forschung ist die Entwurfsarbeit von Studierenden, die an einem ausgewählten Bauplatz in Wien einen Wohnbau entwickeln sollten. Dabei erarbeiteten die TeilnehmerInnen wesentliche Parameter, die in die Entwicklung eines leistbaren Wohnbaus einfließen sollten und beschäftigten sich außerdem mit der Konzipierung und dem Einsatz generativer Entwurfsmethoden mittels der Software Grasshopper und Rhinoceros sowie ArchiCAD oder Revit. Aus den unterschiedlichen Entwurfsergebnissen der einzelnen Kleingruppen wurde ein Projekt exemplarisch ausgewählt, das mit ALBIS im Rahmen einer Fallstudie erneut generiert wird und mit dem bereits erstellten Modell aus der Entwurfsarbeit verglichen wird. Zusätzlich wurde auf dem vorgegebenen Bauplatz bereits ein Wohnbauprojekt realisiert, das ebenfalls als Referenz dient und mittels ALBIS rekonstruiert wird. Die Ergebnisse werden schließlich gegenübergestellt und mit ihren jeweiligen Vorlagen verglichen.

2.3. Vorgehensweise

In den folgenden Kapiteln werden die Grundlagen von ALBIS, dem Algorithm-Aided BIM Skript, dessen Umsetzung in ein anwendbares Skript und der exemplarische Einsatz an Fallstudien beschrieben. Um den Verlauf dieses Projekts abzubilden und die einzelnen Schwerpunkte zu gliedern, wird der nachfolgende praktische Teil dieser Arbeit in drei Schritte unterteilt (Abb. 12):

Modellbildung

In diesem Kapitel werden jene Teilschritte beschrieben, die für die Umsetzung von ALBIS notwendig sind. Zuerst wird die gewählte Softwareumgebung erläutert und die einzelnen Funktionen der Programme beschrieben, die für das Skript wichtig sind. Im zweiten Teil werden die einzelnen Bestandteile des Wohnbaus auf Parameter untersucht und nach den für das Skript notwendigen Teilen gegliedert. Schließlich werden auch die, in der Auswertung genutzten, Kategorien aufgeschlüsselt und die Vorgehensweise beschrieben, wie diese Kriterien in ALBIS einfließen sollen.

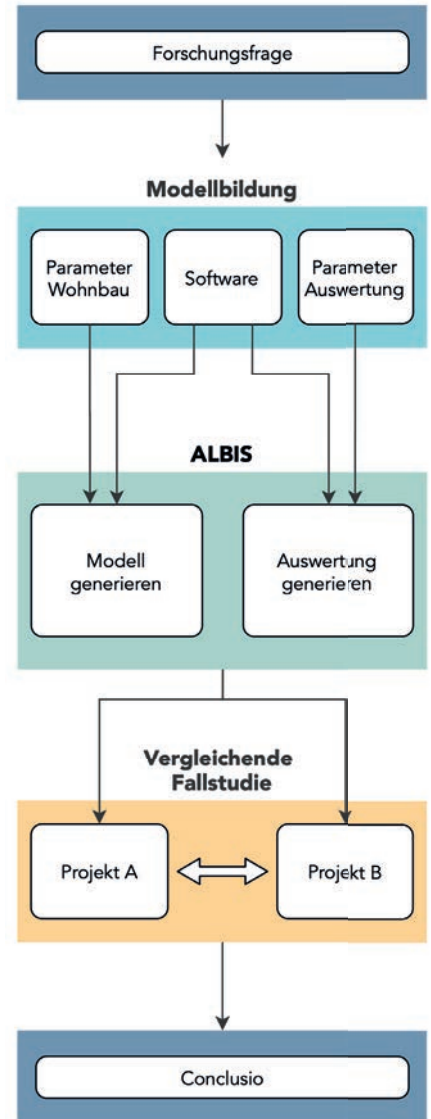
Algorithm-Aided BIM Skript: ALBIS

Aufbauend auf jener Struktur, die im Kapitel Modellbildung erläutert wurde, werden die einzelnen Schritte in ein ausführbares Skript umgesetzt. Die einzelnen Bereiche in der Werkzeugkette werden beschrieben. Die Prozesse in den einzelnen Programmen und die Datenübermittlung und -verarbeitung bilden den Kern dieses Kapitels.

Vergleichende Fallstudie

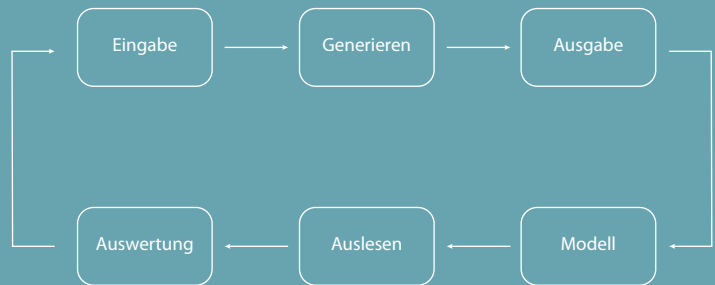
Schließlich wird das produzierte Skript anhand von zwei Projekten, die nicht im Zuge dieser Arbeit entstanden sind, getestet. Dabei wird sowohl die Anwendbarkeit von ALBIS an den beiden Fallstudien geprüft, als auch die Potentiale einer Optimierung beider Projekte verglichen.

Abb. 12: Prozess-Schritte des Rahmenwerks



K A P I T E L D R E I

MODELLBILDUNG





3.1. Software

Mit der vorangegangenen Analyse als Grundlage behandelt der Hauptteil dieser Arbeit die Entwicklung eines Skripts mit dem die Erstellung eines mit BIM modular aufgebauten Wohnbaus möglich wird. Erste Ansätze im Algorithmus gestützten Entwerfen sind bereits gegeben. Zur Erstellung des Skripts ALBIS werden mehrere Programme eingesetzt, die in diesem Kapitel erläutert werden.

3.1.1. Revit

Für eine BIM-fähige Umsetzung wird Revit von Autodesk eingesetzt. Als sogenanntes Authoring Tool für die digitale Planung zählt Revit zu den derzeit erfolgreichsten Programmen am Markt. Es ist auf die Planung mit BIM fokussiert und will speziell für eine interdisziplinäre Planung eine gute Grundlage bieten. Die Software ist dafür mit einer Vielzahl an Funktionen und Elementen für die einzelnen Fachplaner ausgestattet, um die wichtigsten Elemente für die AEC-Branche abzudecken. Neben den für CAD-Programme typischen Elementen wie Wänden, Decken, Türen und Fenstern, die vorrangig für die Planung der Architektur wichtig sind, gibt es auch Elemente der Ingenieurplanung (Tragwerkselemente, Bewehrung, Elektrotechnik, ...) sowie für die Kanal- oder Lüftungstechnik. Ergänzend zu den Möglichkeiten für die interdisziplinäre Planung bietet die Grundstruktur von Revit eine gute Grundlage für parametrisches Planen. Alle Elemente sind BIM-fähig, das heißt sie werden über Informationen, die als Parametern gespeichert sind, definiert. Jedes Element kann folglich, wenn es im dreidimensionalen Raum platziert wird, mit einzelnen Informationen bestückt werden, die dann eine gewisse Geometrie ergeben und weitere Eigenschaften mit sich tragen. Ein Wand-Element wird beispielsweise über räumliche Parameter (Länge, Dicke, Höhe, Position) definiert, kann aber außerdem noch Informationen über den Schichtaufbau, die einzelnen Materialien und deren Spezifikationen, Kosten, Brandschutz und andere zusätzliche Informationen enthalten. Jedes Element besitzt somit eine Reihe an Informationen, die eingegeben und ausgelesen werden können.

Element-Hierarchie

Die Element-Hierarchie von Revit (Abb. 13) ermöglicht es, neben einer zur Verfügung gestellten Element-Bibliothek von Autodesk, auch eigenständig Elemente zu erstellen und diese mit benutzerdefinierten Parametern zu bestücken. Das Programm gibt Element-Kategorien vor, welche die üblichen Bauteile eines Bauvorhabens darstellen. Dazu zählen unter anderem Wände, Stützen, Decken, Treppen, Fenster und Türen. Diese Kategorien geben den Elementen, die jeweils einer Kategorie zugeordnet werden, bestimmte

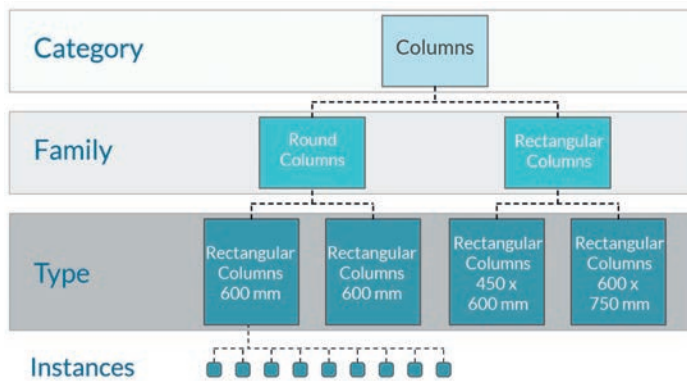


Abb. 13: Element-Hierarchie von Revit
 (Web URL <www.primer.dynamobim.org/de/08_Dynamo-for-Revit/images/8-2/hierarchy.jpg>, 12.10.2019)

Eigenschaften mit. So besitzt ein Element in der Fenster-Kategorie bereits die Eigenschaft, dass es nur in einem anderen Basiselement (z.B. einer Wand) platziert werden kann. Wird ein neues Objekt innerhalb einer Kategorie erstellt, spricht Revit von einer Familie. Eine Element-Bibliothek besteht aus solchen Familien und bietet so verschiedene Varianten der einzelnen Bauteil-Kategorien. Im Falle des Fensters kann es eine Fenster-Familie mit einem Flügel, eine weitere Familie mit zwei Flügeln, oder eine andere mit Fixverglasung geben. In jeder dieser Familien werden einzelne Parameter vergeben, die diese Familien anpassen können. Dabei spielt die nächste Ebene der Element-Typen eine Rolle. Hier werden die einzelnen Parameterwerte als sogenannte Typen-Parameter gespeichert. Eine Fenster-Familie könnte ein Fenster mit einem Dreh-Kipp-Flügel sein. Von diesem wiederum gibt es beispielsweise zwei Typen: Einen mit den Abmessungen 180x100cm und einen weiteren Typ mit 150x150cm Abmessung und einem Holz-Alu-Rahmen. Das hat den Vorteil, dass ein Typ und dessen Parameter einmal definiert werden müssen und das Element – Revit nennt dieses eine Instanz – dann beliebig oft platziert werden kann. Erfordert eine spätere Entscheidung es, einen Parameter dieses Typs zu ändern, wird diese Änderung auf alle Instanzen angewandt.

Zusätzlich zu diesen Typenparametern gibt es auch die Möglichkeit sogenannte Exemplarparameter zu vergeben. Diese sind für jede Instanz individuell. So kann jede Instanz des einflügeligen Fensters beispielsweise eine eigene Parapethöhe aufweisen.

3.1.2 Dynamo

Um die Parameter in Revit zu verändern bedarf es einer manuellen Eingabe in verschiedenen Eingabemasken. Dieser Weg ist jedoch gerade in einer frühen Planungsphase, in der viele Parameter mehrmals verändert werden, umständlich und soll optimiert werden. Der Softwarehersteller Autodesk stellt dem Anwender den Graphical Algorithm Editor (GAE) Dynamo zur Verfügung, der sowohl als eigenständiges Programm, aber auch als Plugin



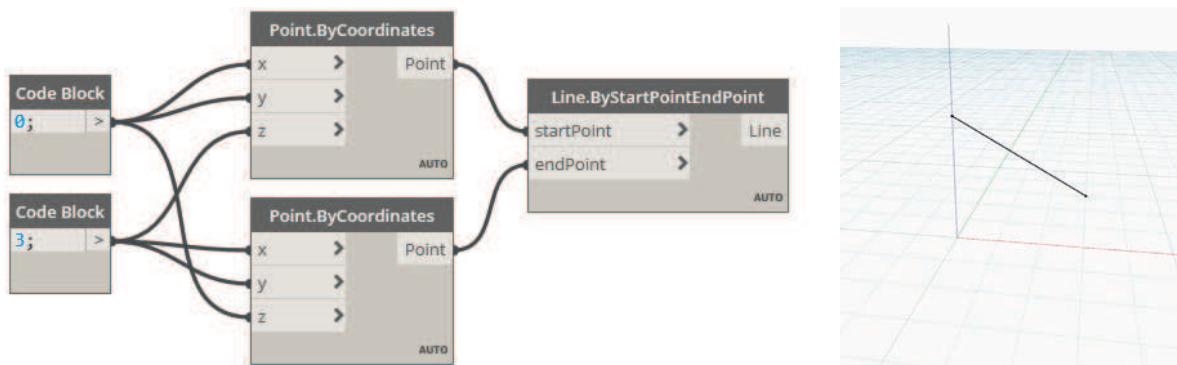


Abb. 14: Bausteinssystem in Dynamo

für Revit funktioniert. Das Plugin ist mittlerweile bei der Installation von Revit inkludiert und ist daher für jeden Anwender automatisch verfügbar.

Dynamo wird zumeist dafür beworben auch komplexe mathematische Geometrien über Codebausteine und Parameter zu generieren. Für die Erstellung von ALBIS ist vor allem die Möglichkeit, Parameter aus Revit automatisiert zu verändern sowie Elemente zu platzieren, interessant und von Vorteil.

Funktionsweise von Dynamo

Die Programmierung in Dynamo erfolgt mittels Code-Bausteinen (Nodes), die durch virtuelle „Kabel“ (Wires) miteinander verknüpft werden (Abb. 14). Es werden keine reinen Codezeilen im Textformat geschrieben. Diese Herangehensweise der visuellen Programmierung bietet einen schnellen Einstieg in das Programm. Dynamo besitzt neben der Oberfläche zur Programmierung auch noch eine 3D-Ansicht im Hintergrund, in der die erstellten Geometrien dargestellt werden. Da Dynamo auch unabhängig von Revit benutzt werden kann (ursprünglich wurde Dynamo als eigenständiges Programm entwickelt), ist es wichtig zwischen Dynamo-Geometrie und Revit-Geometrie zu unterscheiden. Wird eine Geometrie aus Revit in Dynamo geladen, so muss diese zunächst in Dynamo-Geometrie umgewandelt werden, um sie zu verändern. Genauso müssen auch in Dynamo erzeugte Objekte in Revit-Elemente konvertiert werden, um diese dahin zurück zu geben. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit, die Geometrie gänzlich in Revit zu belassen und lediglich auf deren Parameter zuzugreifen und diese zu verändern. Dabei wird keine Geometrie in Dynamo verarbeitet, sondern es werden lediglich einzelne Parameter-Werte editiert.

3.1.3. Alternative Software

Die beschriebene Software-Kombination aus Revit und Dynamo wurde für die Erstellung von ALBIS gewählt, da sie von Grund auf für Anwender zur Verfügung steht und mit einer Schnittstelle, die nicht selbst eingerichtet werden muss, nur wenig Potential für Übertragungsfehler bietet.

Im Sinne der Vollständigkeit sei hier noch eine weitere Softwareumgebung erwähnt, die einen ähnlichen Arbeitsablauf erlaubt: Neben Revit gilt ArchiCAD von Graphisoft als etabliertes Authoring-Tool für die BIM-Planung. ArchiCAD besitzt keine direkte Schnittstelle für parametrische und algorithmische Modellierung. Abhilfe schafft dabei die 3D-Modellierungssoftware Rhinoceros 3D in Kombination mit dem Plugin Grasshopper. Das Open-Source Plugin ist ebenfalls ein GAE mit einer großen Anzahl an Erweiterungen. Unter anderem gibt es hier die Möglichkeit ArchiCAD-Elemente zu erzeugen und zu verarbeiten sowie diese dann über eine sogenannte „Live-Connection“ in ArchiCAD zu importieren. Genauso gibt es eine Erweiterung, um Grasshopper-Geometrie in Revit zu importieren. Beide Varianten benötigen jedoch Rhinoceros 3D mit Grasshopper als zusätzliche Software und bilden somit auch mindestens eine Schnittstelle mehr als es bei Revit mit Dynamo der Fall ist. Außerdem bietet die parametrisierbare Element-Hierarchie in Revit gegenüber der Programmstruktur von ArchiCAD einen weiteren Vorteil bei der Erstellung von benutzerdefinierten Elementen und wird daher bevorzugt in diesem Rahmenwerk eingesetzt.

3.1.4. Software-Workflow

Um eine bessere Überprüfbarkeit der getätigten Eingaben und auch der einzelnen Teilschritte beim Generieren des Modells zu gewährleisten, wird die Eingabe der Parameter zusätzlich in eine Tabellenkalkulationssoftware ausgelagert. Im konkreten Fall wird dazu Microsoft Excel genutzt. Dynamo bietet hierfür eigene Code-Blöcke, die ein Auslesen und Schreiben einzelner Zellen in einer Excel-Datei ermöglichen. Damit folgt der Arbeitsablauf beim Erstellen des Modells dem folgenden Schema (Abb. 15): Eingabe in Excel – Generieren in Dynamo – Ausgeben in Revit. Beim Auswerten läuft der Prozess in umgekehrter Richtung: Modell (Revit) – Auslesen (Dynamo) – Auswerten (Excel). Gewisse Eingaben, speziell beim ersten Einrichten des Workflows, sind dennoch direkt in Dynamo und Revit notwendig. Eine Auslagerung dieser Teilschritte nach Excel wäre auch möglich und würde im Sinne einer höheren Benutzerfreundlichkeit stehen, ist jedoch nicht Schwerpunkt dieser Arbeit. Daher werden alle für ALBIS wesentlichen Eingaben nach Excel ausgelagert.

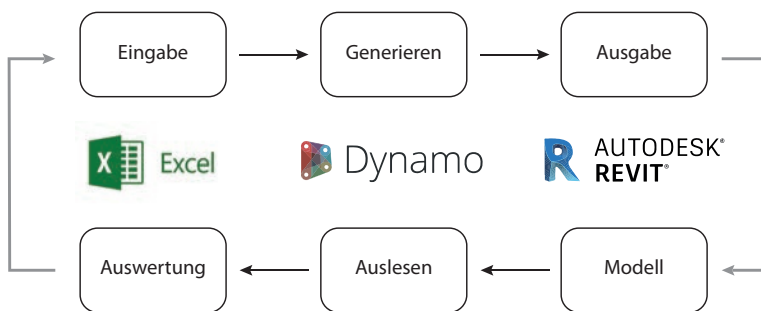
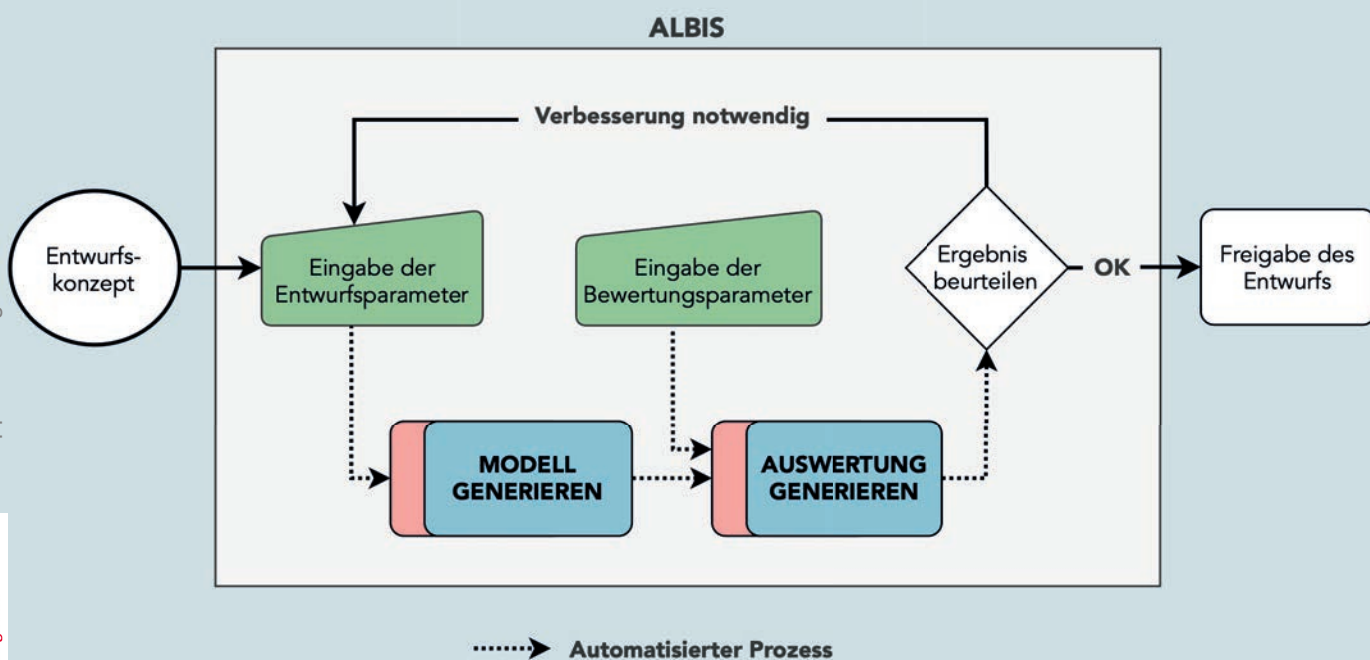
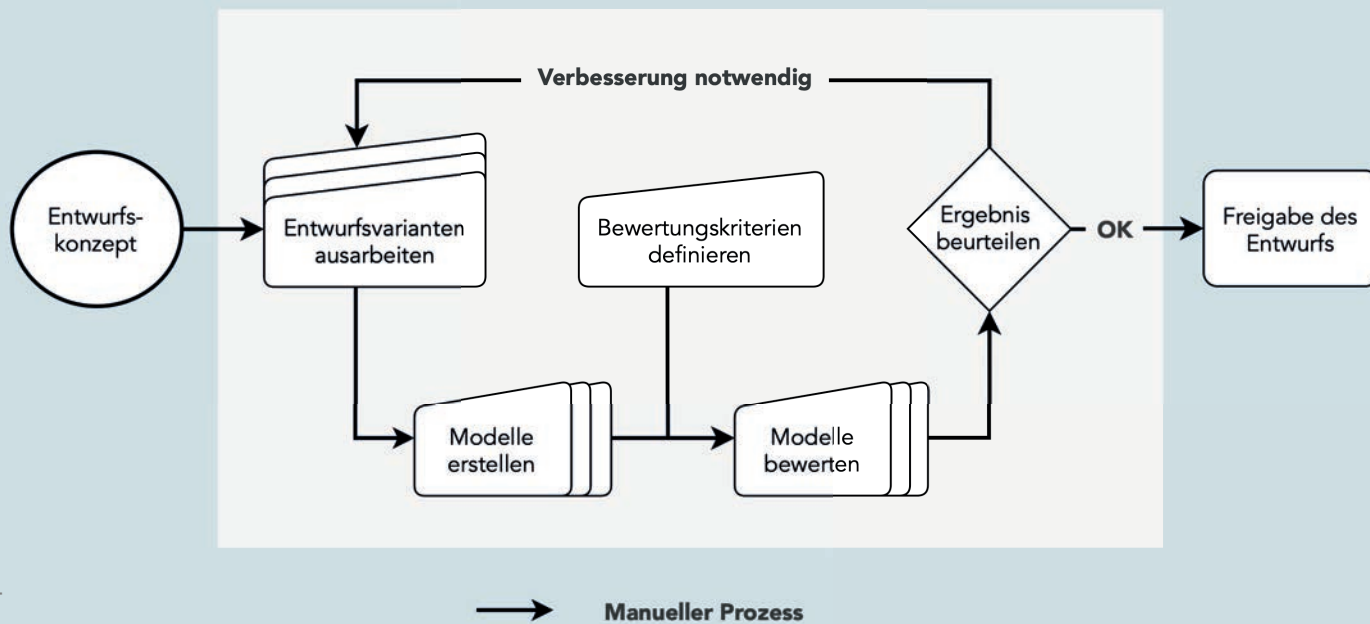
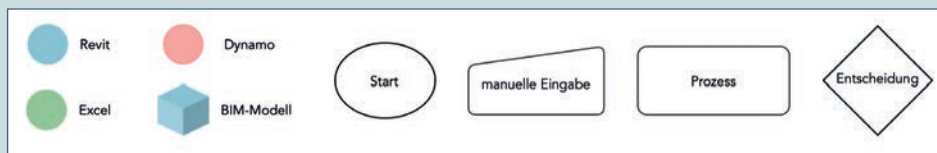


Abb. 15: Software-Ablauf von ALBIS

Abb. 16: Schematische Darstellung des Entwurfsprozesses mit und ohne ALBIS



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.1.5. Entwurfsprozess mit Algorithm-Aided BIM

Jeder Planungsprozess folgt einem gewissen Schema. Dieses Schema, sowie welche einzelnen Leistungen darin enthalten sind, wird für Österreich unter anderem in der Honorarordnung für Architekten (HOA) beschrieben. Darin wird der Vorentwurf als jene Leistungsphase beschrieben, in der alle Rahmenbedingungen erörtert und analysiert werden. Die „Erarbeitung des grundsätzlichen Lösungsvorschlages auf Basis der vom Bauherrn bekannt gegebenen Planungsgrundlagen [...] einschließlich Untersuchungen alternativer Lösungsmöglichkeiten nach gleichen Anforderungen und deren Bewertung“ (HOA 2002, §3 (1)) sowie eine Kostenschätzung sind demnach das Ziel des Vorentwurfs. Analog dazu beschreibt das Leistungs- und Vergütungsmodell (Lechner und Heck, 2014), kurz LM.VM, die Grundleistungen des Vorentwurfs in der Objektplanung folgendermaßen:

- a) *Abstimmen der Leistungen mit den fachlich an der Planung Beteiligten*
- b) *Abstimmen der Zielvorstellungen, Hinweisen auf Zielkonflikte*
- c) *Erarbeiten des Vorentwurfs, Untersuchen, Darstellen und Bewerten von Varianten nach gleichen Anforderungen, Zeichnungen im Maßstab nach Art und Größe des Objekts, idR. 1:200*
- d) *Klären und Erläutern der wesentlichen Zusammenhänge, Vorgaben und Bedingungen*
- e) *Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten sowie Koordination und Integration deren Leistungen*
- f) *Vorverhandlungen über die Genehmigungsfähigkeit*
- g) *Kostenschätzung nach ÖN B 1801-1 (1. Ebene), Vergleich mit dem Kostenrahmen des AG und Erstellen eines Terminplans mit den wesentlichen Vorgängen des Planungs- und Bauablaufs*
- h) *Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren der Ergebnisse*

Somit ergibt sich für den Architekten als koordinierende Instanz die Aufgabe der Erstellung des Vorentwurfs und der damit verbundenen Erstellung von Varianten, sowie die Abstimmung dieser Varianten mit den Zielen und Wünschen des Bauherren, aber auch mit den an der Planung beteiligten Fachplanern. Alle in diesem Prozess aufkommenden Konflikte und Verbesserungspotentiale haben Änderungen zur Folge, die wiederum in den Entwurf eingearbeitet werden müssen. Dieser Ablauf verläuft iterativ, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt wird und die Vielzahl an Varianten auf einen Entwurf reduziert werden kann. Abbildung 16 zeigt einen schematischen Ablauf der Variantenbildung in Bezug auf die Erstellung von BIM-Modellen. In der oberen Grafik wird der Verlauf ohne ALBIS dargestellt. Aufbauend auf

einem Entwurfskonzept werden Varianten erstellt und modelliert. In einem nächsten Schritt werden diese Entwurfsvarianten überprüft und bewertet. Dabei spielen alle Planungsbeteiligten eine Rolle, da Änderungen aus jedem Bereich einfließen und durch den Architekten in den Entwurf integriert werden sollen (vgl. LM.VM). Folglich wird dieser Ablauf wiederholt durchgeführt und Änderungen an den Varianten führen zu weiteren alternativen Varianten. Der in der darunter liegenden Grafik dargestellte Prozess mit ALBIS zeigt den angestrebten und teilweise automatisierten Ablauf. Die manuelle Eingabe beschränkt sich auf die Entwurfs- und Bewertungsparameter sowie die Beurteilung selbst.

3.2. Wohnbau: Relevante Parameter

3.2.1. Bestandteile des Wohnbaus

So unterschiedlich Wohnbauten auch gestaltet werden können, gibt es dennoch wiederkehrende Faktoren, die in jedem Projekt ihren Platz finden. Geplant und gebaut wird für Menschen und deren Bedürfnisse. Viele dieser Bedürfnisse sind so essentiell, dass sie durch Gesetze definiert werden, um bei der Planung von Wohnungsbauten gewisse Mindestanforderungen (Raumhöhe, Erschließbarkeit, Sanitäreinrichtungen, Belichtung) zu erfüllen. Außerdem wird der Wohnbau von weiteren Parametern beeinflusst. Beispiele dafür sind Vorgaben für die Tragfähigkeit der eingesetzten Bauteile und deren Dimensionierungen, Einschränkungen durch die verfügbaren Transportmöglichkeiten oder Kosten- und Zeitrahmen. Auch wenn einige dieser Regeln einschränkend auf die Planung wirken, bieten diese Faktoren ein Rahmengerüst, in dem sich die Planung bewegen kann. Sie geben Grenzwerte vor, die nicht überschritten werden sollen. Innerhalb dieses Rahmens wird versucht zum bestmöglichen Ergebnis zu gelangen. (Staub et al, 2008)

Der Geschosswohnungsbau kann durch seine wiederkehrenden Elemente gut typologisiert werden. Grundlegende Elemente, wie Erschließung, Konstruktion, Wohnungstypen, Belichtung und Freiraum, sind stets Teil der Planung eines Wohnhauses. Mittels dieser Kategorien lassen sich bestehende Bauten unterteilen und nach einzelnen Gesichtspunkten vergleichen (Stamm-Teske et al, 2012). Umgekehrt können auf diese Weise auch in der Planung befindliche Wohnbauten nach diesen Elementen strukturiert werden, um unterschiedliche Varianten zu bilden und die Ergebnisse vergleichen zu können. Die Methode bei der Entwicklung eines systematisch generierbaren Wohnbaus liegt folglich dessen Bestandteilen, die immerzu vorhanden sind, und ihren Typologien zugrunde. Der generative Entwurfsprozess folgt einer schrittweisen Abfolge, bei der die nachstehenden Bestandteile erzeugt werden.

3.2.2. Konstruktion

Die Tragstruktur des Gebäudes ist das grundlegende Gerüst, das eine starre Konstante im Bauwerk bildet. Die Entscheidungen der Konstruktionsweise und der Position der einzelnen Elemente haben eine essentielle Auswirkung auf die zukünftige Nutzung. Gleichzeitig bilden

Parameter wie die Spannweite und Dimensionierung der Elemente einen wichtigen Faktor der Wirtschaftlichkeit. (Meuser und Meuser, 2018)

Als Grundlage einer jeden Konstruktion dient ein Raster, das die tragende Struktur und den Bezug der tragenden Elemente zueinander aufzeigt. Wenngleich die stringente Rasterung der Grundrisse beim Wohnbau im Vergleich zu anderen Bautypen nur eine untergeordnete Rolle spielt, so ist es dennoch offensichtlich, dass sich aus der Tragstruktur einige Abhängigkeiten für die darin eingegliederten Wohnungen bilden. Speziell wenn eine hybride Nutzung (beispielsweise aus gewerblicher Nutzung kombiniert mit Wohnungen eventuell noch ergänzt mit PKW-Plätzen) innerhalb derselben Struktur gewünscht ist, sollte die Tragstruktur allen Anforderungen bestmöglich gerecht werden. Zusätzlich spielt die Tragstruktur gerade in Bezug auf einen kostengünstigen seriellen Wohnbau eine entscheidende Rolle, da gerade der Rohbau einen großen Kostenanteil bildet (Benze et al, 2019).

Abb. 17: Raster-Elemente und Grundstruktur

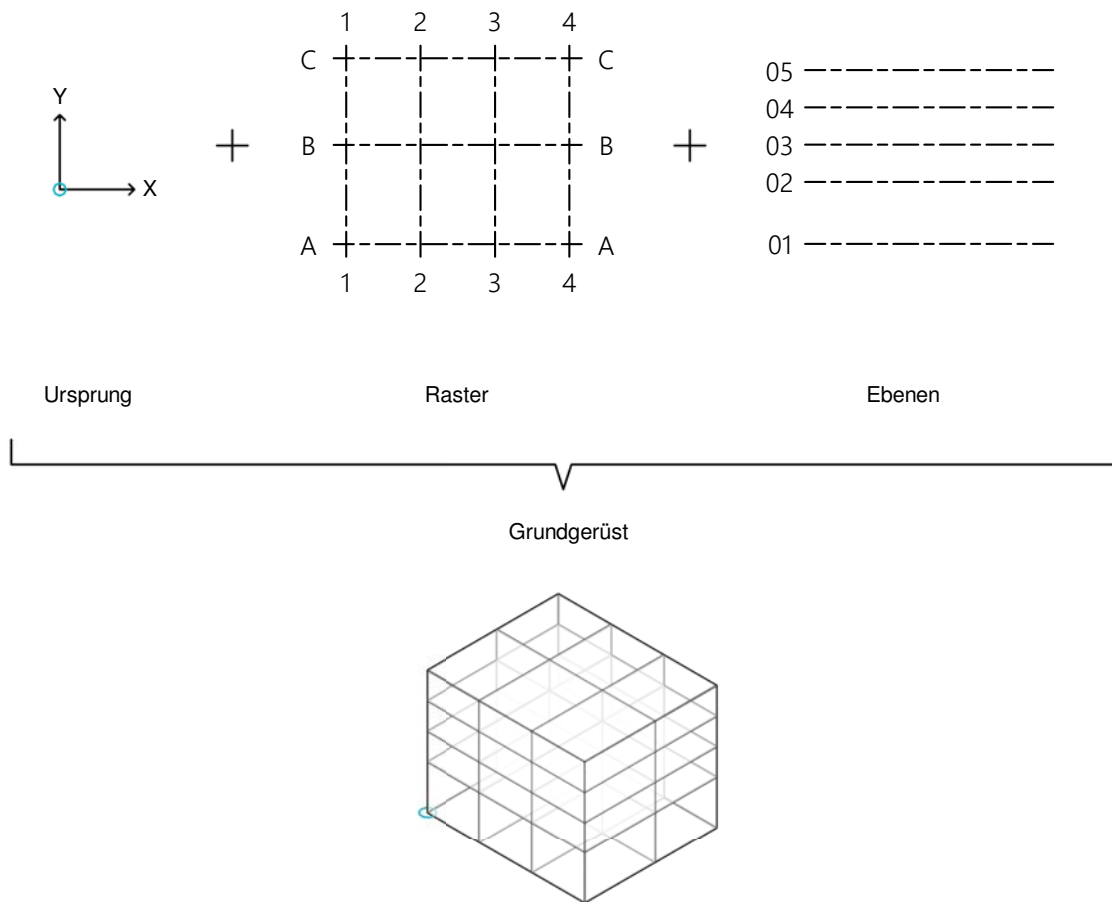
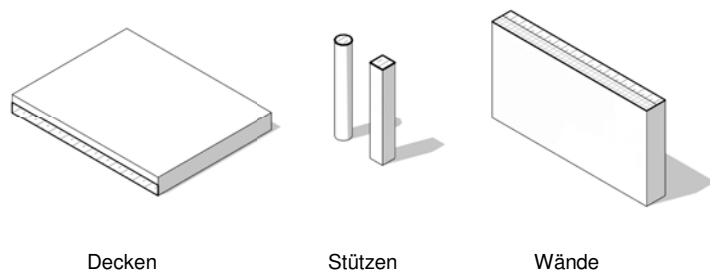


Abb. 18: Konstruktions-Elemente



Bezugnehmend auf diese Überlegungen haben sich unterschiedliche Formen der Konstruktion etabliert:

Skelett- und Massivbauweise

Bei der Skelettbauweise handelt es sich um einen Gliederbau in dem einzelne Glieder (Stützen, Unterzüge, Decken) eine gerüstartige Tragstruktur bilden und weitere raumbildende Elemente (Wände) somit nicht tragend sein müssen. Im Gegensatz zum Skelettbau werden beim Massivbau Wandscheiben als vertikale Tragelemente eingesetzt. Beide Konstruktionsformen lassen sich miteinander kombinieren und erlauben unterschiedliche Möglichkeiten der Steifigkeit und Flexibilität. In den seltensten Fällen handelt es sich bei einem Gebäude um eine Reinform eines der genannten Typen. (Meuser et al, 2019)

Modulbauweise

Bezugnehmend auf die Planung mit Modulen besteht auch die Möglichkeit der Planung mit selbsttragenden Raumzellen. In sich ausgesteifte und stapelbare Blöcke können zu Wohnungen, Geschossen und ganzen Gebäuden zusammengestellt werden. Diese Form der Konstruktion bietet eine große Möglichkeit an Flexibilität nach außen: Schnelle Montage und Demontage, Transportfähigkeit und wandelbare Kombinationsmöglichkeiten (Winter et al, 2018). Als Kehrseite ist eine geringe Flexibilität nach innen gegeben: Vordefinierte Spannweiten und Raumgrößen, ungünstiges Verhältnis der Konstruktionsfläche zum geschaffenen Raum und Einschränkung in der Gestaltung von Fassaden und Grundrissen (Meuser et al, 2019).

Notwendige Parameter:

Raster als Grundgerüst, um die Tragstruktur und alle folgenden Elemente verorten zu können (Abb. 17):

- *Ursprung*
- *Rasterabstände*
- *Geschosshöhen und -anzahl*

Konstruktionselemente (Abb. 18):

- *Geschossdecken*
- *Stützen der Konstruktion*
- *Wände der Konstruktion*

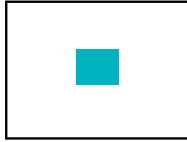


Abb. 19: Erschließungstyp: Punkt-
förmig



Abb. 20: Erschließungstyp: Innen-
gang (oben) und Laubengang (unten)

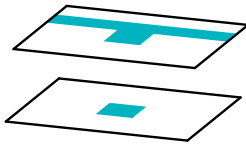


Abb. 21: Erschließungstyp: Mehr-
geschossig

3.2.3. Erschließung

Mit der Erschließung wird die interne Verknüpfung einzelner Funktionsbereiche miteinander erreicht. Unterschieden wird zwischen einer horizontalen und einer vertikalen Erschließung. Während die vertikale Erschließung die Verknüpfung der einzelnen Ebenen oder Geschosse miteinander bildet, erreicht die horizontale Erschließung, welche sich meist von einer vertikalen Erschließung als Ausgangspunkt fortsetzt, alle Funktionsbereiche, die das jeweilige Geschoss beinhaltet.

Die zentralen Elemente jedes mehrgeschossigen Gebäudes sind die vertikale und die horizontale Erschließung. Im Detail wird die Erschließung noch in eine wohnungsinterne Erschließung und eine Gebäudeerschließung gegliedert. Schnittstelle bildet der Wohnungseingang. Außerdem hat der Raum der Erschließung im Wohnbau oftmals neben der Funktion der Verknüpfung einzelner Bereiche auch eine Aufgabe als Begegnungszone, des Austausches der Bewohner miteinander oder der Lagerung. All diese Funktionen erlauben eine Vielfalt an Interpretation und Gestaltung, die einen wichtigen Bestandteil des Entwurfes ausmacht. (Ebner et al, 2009)

Erschließungstypologien

Die Erschließung lässt sich in verschiedene Typologien, abhängig von ihrer Form und der Anzahl an erreichten Wohneinheiten, gliedern. Nach Stamm-Teske et al (2012) und Keck (2017) können die meisten entworfenen Erschließungstypologien im Wohnbau wie folgt unterschieden werden:

a) Punktformige Erschließung

Dieser Typ erhält seinen Namen aufgrund der sehr kompakten, nahezu punktförmigen Grundfläche (Abb. 19). An einer vertikalen Erschließung wird die horizontale Erschließung – über einen möglichst kleinen Raum – zu den einzelnen Wohnungen ermöglicht. Dieser Typ wird auch Spänner genannt. Je nachdem wie viele Wohnungen pro Geschoss über einen Spänner erschlossen werden können, lautet die Bezeichnung Ein-, Zwei-, Drei- oder Vierspänner. Theoretisch ist die Anzahl der Zugänge pro Spänner beliebig, da sich jedoch ab einer gewissen Anzahl die Sinnhaftigkeit des Spännertypus in Frage stellen lässt, sind Zwei- bis Vierspänner die am häufigsten angewandten Varianten.

b) Gangerschließung

Bei der Gangerschließung besteht die Möglichkeit mehrere Wohnungen entlang einer linienförmigen Erschließungsachse anzuordnen. Je nach Position des Ganges entsteht ein Innengang – wenn dieser zumindest von zwei Seiten durch Wohnungswände begrenzt wird – oder ein Laubengang, sofern dieser an einer Außenseite des Gebäudes liegt und Wohnungen nur einseitig erschließt (Abb. 20).

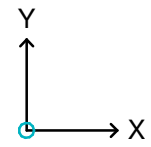
c) Mehrgeschossige Erschließungstypen

Eine Sonderform ist die mehrgeschossige Erschließung. Hierbei werden Wohnungen nicht über jedes einzelne Geschoss erreicht, sondern beispielsweise nur über jedes Zweite. Voraussetzung ist, dass auch die interne Wohnungsererschließung über mehrere Geschosse erfolgt. Dadurch können ganze Geschosse frei von einer horizontalen Gebäudeerschließung bleiben und so das Verhältnis zwischen Wohnfläche und Erschließungsfläche optimiert werden. Kehrseite ist eine dementsprechend größere interne Erschließungsfläche als bei Geschosswohnungen (Abb. 21).

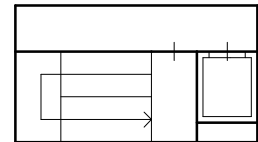
Unterschieden werden kann bei dieser Form zwischen Maisonnetten, bei denen die Wohnung aus mindestens zwei (Voll-)Geschossen besteht, und Split-Level Wohnungen, bei denen die Wohnungsebenen zueinander über eine geringere Höhe als eine gesamte Raumhöhe versetzt sind.

Notwendige Parameter (Abb. 22):

- Wahl des Erschließungstyps
(Punktförmig, Gang, mehrgeschossiger Typ)
- Position der vertikalen Erschließungskerne
(Wände, Treppe, Aufzug, Durchbrüche)
- Konfiguration innerhalb der Kerne
(Wände, Treppe, Aufzug, Durchbrüche)
- Position der horizontalen Erschließung
- Konfiguration der horizontalen Erschließung (Wände, Durchbrüche)



Position(en)



Konfiguration

Abb. 22: Parameter der Erschließung

3.2.4. Wohnungsgrundrisse

Jede Wohnung besitzt einzelne Funktionsbereiche, wie Sanitär, Kochen, oder Wohnen und Aufenthalt, die innerhalb der Wohnfläche verfügbar sein müssen. Im Laufe der Geschichte haben sich in Bezug auf diese Funktionen einzelne Räume entwickelt, in denen gewisse thematisch zusammenpassende Funktionen gesammelt werden. Die Größe und Möblierung der einzelnen Räume ist auf die Nutzung zurückzuführen. Durch einen sich ändernden Blick auf das Thema Wohnen von auf ein Minimum optimierte Wohnungsgrundrisse hin zu Wohnraum als Konsumprodukt bietet die Gestaltung der Wohnungen eine Vielzahl an Entwurfs Optionen. Der Verlauf der Geschichte zeigt, dass jede Epoche und Kultur ganz unterschiedliche Wohnformen entwickelt hat (Ebner et al, 2009). Heutzutage folgt jeder Wohnungsgrundriss einem Funktionsprogramm, bei dem die einzelnen Funktionen je nach Anforderung und Priorität unterschiedlich gewichtet werden. Nach Stamm-Teske et al (2012) lassen sich diese Funktionen in dienende Zonen zum Kochen, Verstauen oder Waschen (Sanitärbereiche), Individualbereiche zum Schlafen, Arbeiten oder Lernen und kommunikative Bereiche zum Aufenthalt und Wohnen unterteilen. Die interne Erschließung dient als Verknüpfung all dieser Funktionen.

Dienende Bereiche

Den dienenden Bestandteil der Wohnung bilden die Sanitärräume und Abstellbereiche. Der Kochbereich hält zwar ebenfalls Sanitäreinrichtungen, wird jedoch aufgrund einer zunehmenden sozialen Funktionen heutzutage eher dem kommunikativen Bereich zugeordnet. Ebenso sind Badezimmer und WC undefinierte Größen im Wohnungsgrundriss. Ein weites Spektrum, von kompakten Nasszellen bis hin zu großzügigen Badezimmern, ist möglich. Auch die Frage nach der Position der Toilette im Badezimmer oder in einem eigenen Raum mit oder ohne Waschbecken stellt sich. Ein weiterer oftmals in der Planung vernachlässigter Bestandteil einer Wohnung ist die Abstell- und Lagerfläche. Manche Entwürfe sehen verschiedene Lagerflächen, beispielsweise für Kinderwägen und Fahrräder, außerhalb der Wohnung vor. Für die Lagerung von Nahrungsmitteln und Kleidung wird hingegen eine ständige Verfügbarkeit erwartet. Daher muss dafür ein Platz in der Wohnung vorgesehen werden.

Individualbereiche

Zu den individuellen Bereichen gehören all jene Räume, die den einzelnen Bewohnern einer Wohnung zugeschrieben werden. Das konventionelle Bild einer Familie hat die Grundrisskonfiguration mit Schlafzimmer und Kinderzimmer(n) geprägt. Trotzdem sollte auch diese Konstellation als variabel angesehen werden. Sind doch auch ganz unterschiedliche Kombinationen von Bewohnern unterschiedlichen Alters und Generation möglich. Tendenziell geht die Anforderung an individuellen Raum mit dem steigenden Alter einher. Auch die Anzahl der Bewohner der Wohnung gilt als entscheidendes Merkmal für die richtige Konfiguration von Privatheit und Gemeinschaft. Während beispielsweise in einer kleinen Wohnung, für ein bis zwei Personen, oft ein Möbel als Trennung von Individualbereich zu Kommunikationsbereich ausreicht, sollte bei größeren Wohnungen auch auf die sinnvolle Zuordnung einzelner dienender Räume zu Individualräumen geachtet werden.

Kommunikative Bereiche

Zum kommunikativen Bereich zählt vorrangig der Wohnbereich. Je nach Entwurf kann auch der Kochbereich dieser Zone zugeordnet werden oder sogar in dessen Mittelpunkt treten. Damit einher geht meist auch ein Essbereich mit Tisch und Stühlen. Die Ausrichtung und Möblierung dieses kommunikativen Raumes kann nach unterschiedlichen Hierarchien erfolgen. So kann die mediale Ausstattung als zentrales Element gelten auf die eine Sitzgruppe ausgerichtet ist. Diese kann jedoch ebenso in den Hintergrund treten, um der Sitzgruppe, als zentrales Element der Kommunikation, Platz zu bieten. Der kommunikative Bereich ist der öffentliche Teil der Wohnung. Er dient als Repräsentation für Gäste und wird als Austauschort für die Bewohner genutzt. Deshalb wird er häufig als wichtigstes Element in den Entwurfsentscheidungen gesehen.

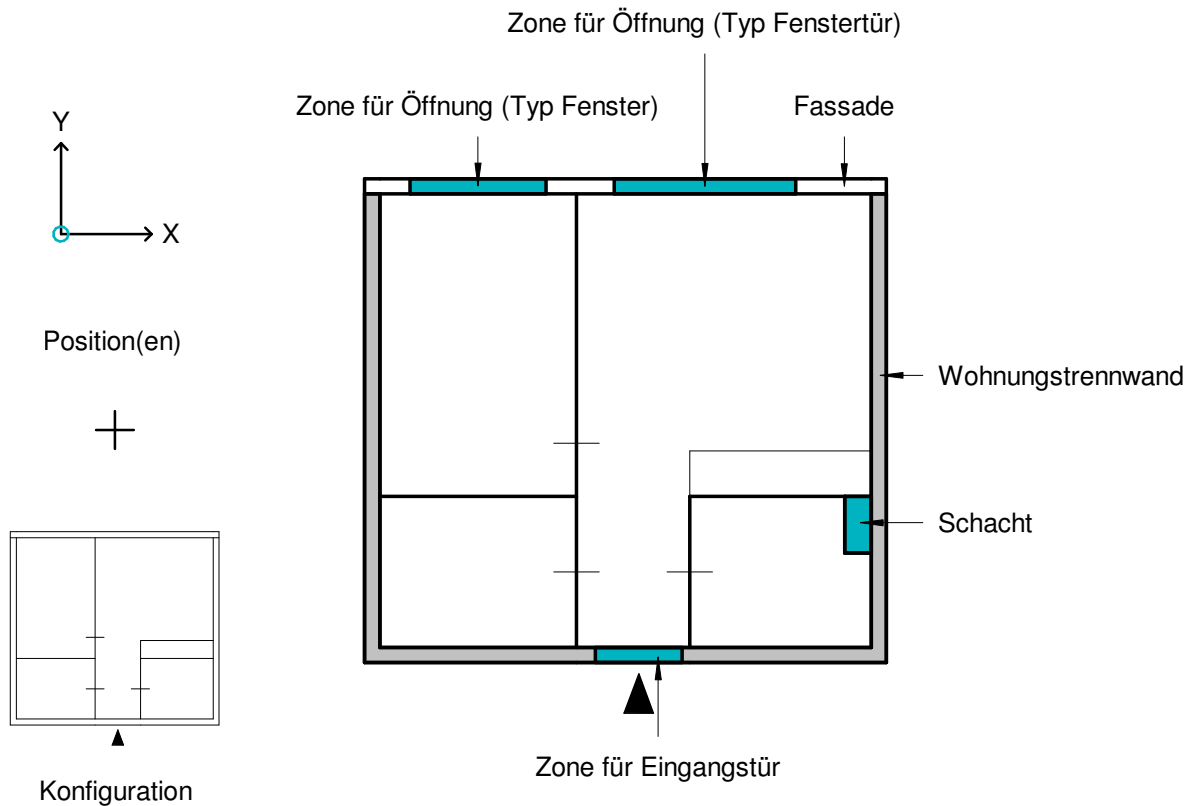


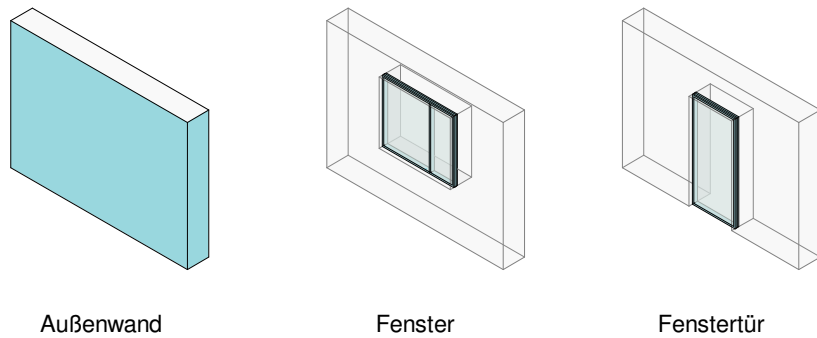
Abb. 23: Parameter der Wohnung

Neben diesen Hauptfunktionen einer Wohnung gibt es immer wieder die Anforderung zusätzlicher Bereiche. Durch intensiv ausgelebte Hobbys und Freizeitaktivitäten werden zusätzliche Räume notwendig. Ebenso verlangt eine sich wandelnde Arbeitswelt, die das Arbeiten von zu Hause zulässt, nach geeigneten Nutzräumen. Neue Wohntypen wie Ateliers und Mischnutzungen sind die Folge. Die unterschiedlichen Anforderungen an Wohnungsgrundrisse und die sich wandelnden Präferenzen zeigen, wie wichtig eine geplante Flexibilität in den Wohnungsgrundrissen ist. Idealerweise sollten statische Elemente (Tragwerk, Schächte) so positioniert werden, dass eine variable Grundriss-Konfiguration möglich ist. Deshalb wird im erarbeiteten Skript der Fokus auf die statischen Elemente (Außenwände, Öffnungen, Schächte) gelegt.

Notwendige Parameter (Abb. 23):

- *Position der Wohnung(en) im Gebäude*
- *Zugang zu den Wohnungen*
- *Begrenzung der Wohnung (Wohnungstrennwände)*
- *Mögliche Belichtungsflächen (Fassadenfläche)*
- *Interne Konfiguration der Wohnungsgrundrisse*
- *Position der Schächte*
- *Mögliche Zugänge zu Freiraum*

Abb. 24: Fassaden-Elemente



3.2.5. Fassade

Die Fassade stellt im Wohnbau eine spezielle Aufgabe dar. Als abschließende Hülle hat sie die Aufgabe der Repräsentation nach Außen, der Erfüllung der bauphysikalischen Anforderungen und der Unterbringung der erforderlichen Öffnungen zur Belüftung und Belichtung der dahinter liegenden Nutzflächen. Zusätzlich bilden die privaten Freiräume einen elementaren Bestandteil der Außenform. Um all diesen Anforderungen zu genügen, gibt es größere Einschränkungen in der Gestaltungsfreiheit als beispielsweise bei der Fassade eines Bürobaus oder eines öffentlichen Gebäudes. Dennoch zeigen realisierte Projekte die unterschiedlichen Möglichkeiten, mit der äußeren Schicht umzugehen. Für die erste Konzeption und Auswertung eines Wohnbauprojektes in der Vorentwurfsphase ist es sinnvoll sich vorrangig auf die notwendigen Öffnungen, die Position der Freiräume sowie den Aufbau der Außenhülle zu konzentrieren (Abb. 24).

Notwendige Parameter:

- *Aufbau und Material Außenhaut*
- *Öffnungen (Fenster, Fenstertüren)*

3.2.6. Freiraum

Jedes Errichten von Wohnraum ist mit der Frage der Schaffung eines zugehörigen Außenraums verbunden. Neben der städtebaulichen Erfüllung von öffentlichem Freiraum für die Bewohner gibt es unterschiedliche Ansätze wie mit dem privaten Außenraum umgegangen wird. Verschiedene Ansätze von stark verdichteten Wohnblöcken bis hin zu Gartensiedlungen sind vorhanden und möglich. Das Bedürfnis an privatem Freiraum ist ein Qualitätsaspekt der beim Entwurf eines Neubaus, aber auch beim Bauen im Bestand, eine wesentliche Rolle spielt. Dabei ist sowohl die Gestaltung dieser oft stark sichtbaren Elemente der Fassade, als auch die Planung für eine sinnvolle Nutzbarkeit entscheidend für einen erfolgreichen Entwurf.

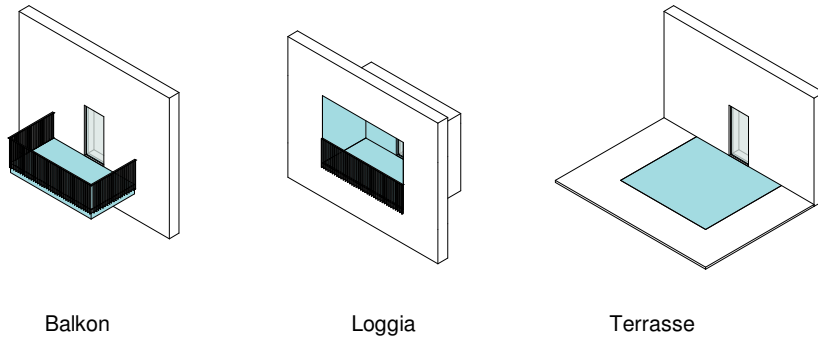


Abb. 25: Arten des privaten Freiraums

Unterschieden werden können die privaten Freiräume nach ihrer Lage im Gebäude (Abb. 25):

Balkon: Ein auskragender, nicht überdeckter Anbau, der nach mindestens zwei Seiten geöffnet steht und dort mittels Brüstung oder Geländer begrenzt wird.

Loggia: Ein dreiseitig umschlossener und überdeckter Freiraum.

Terrasse: Eine vor dem Gebäude befindliche Freifläche, die oft durch einen Garten erweitert wird. Befindet sich die Terrasse auf einem Gebäudeteil, wird dieser Freiraum als Dachterrasse bezeichnet.

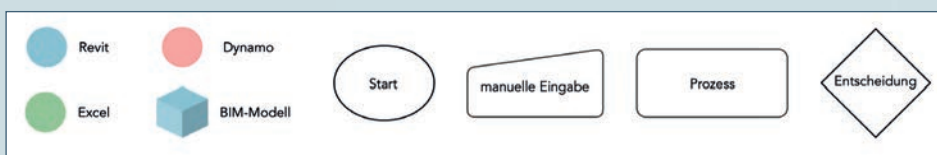
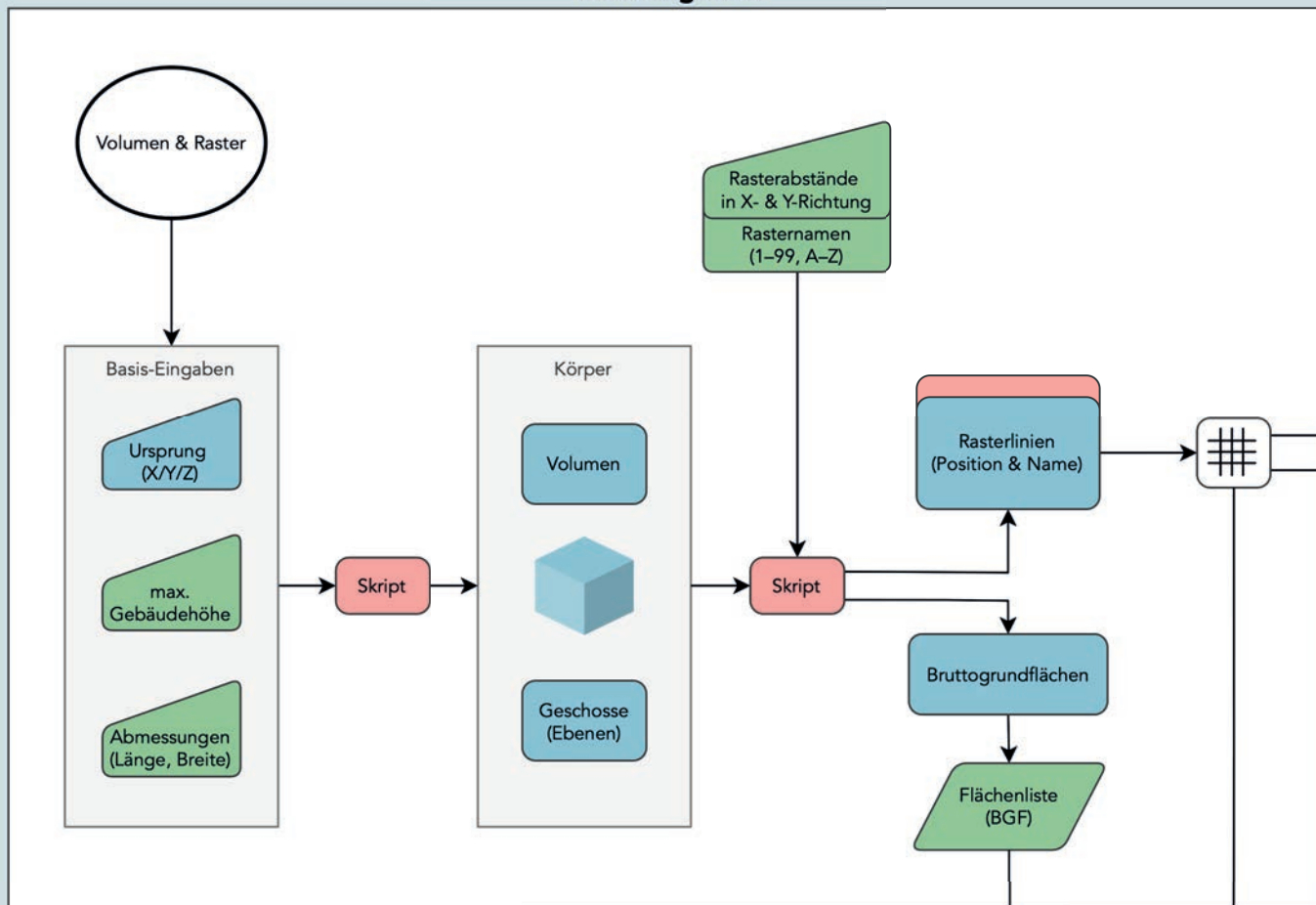
Notwendige Parameter:

- *Position des privaten Freiraums zu jeder Wohnung (Zugang)*
- *Art des Freiraums (Balkon, Loggia, Terrasse)*
- *Konfiguration des Freiraums (Größe und Form)*

3.2.7. Prozess-Schema: Wohnbau generieren

Auf den folgenden Seiten werden die Teilschritte des generativen Prozesses der Modellierung schematisch dargestellt (Abb. 26–27). Alle relevanten Parameter, die vom Grundgerüst bis hin zum Freiraum erläutert wurden, sind darin enthalten. Alle Schritte sind dabei farblich nach Software gekennzeichnet.

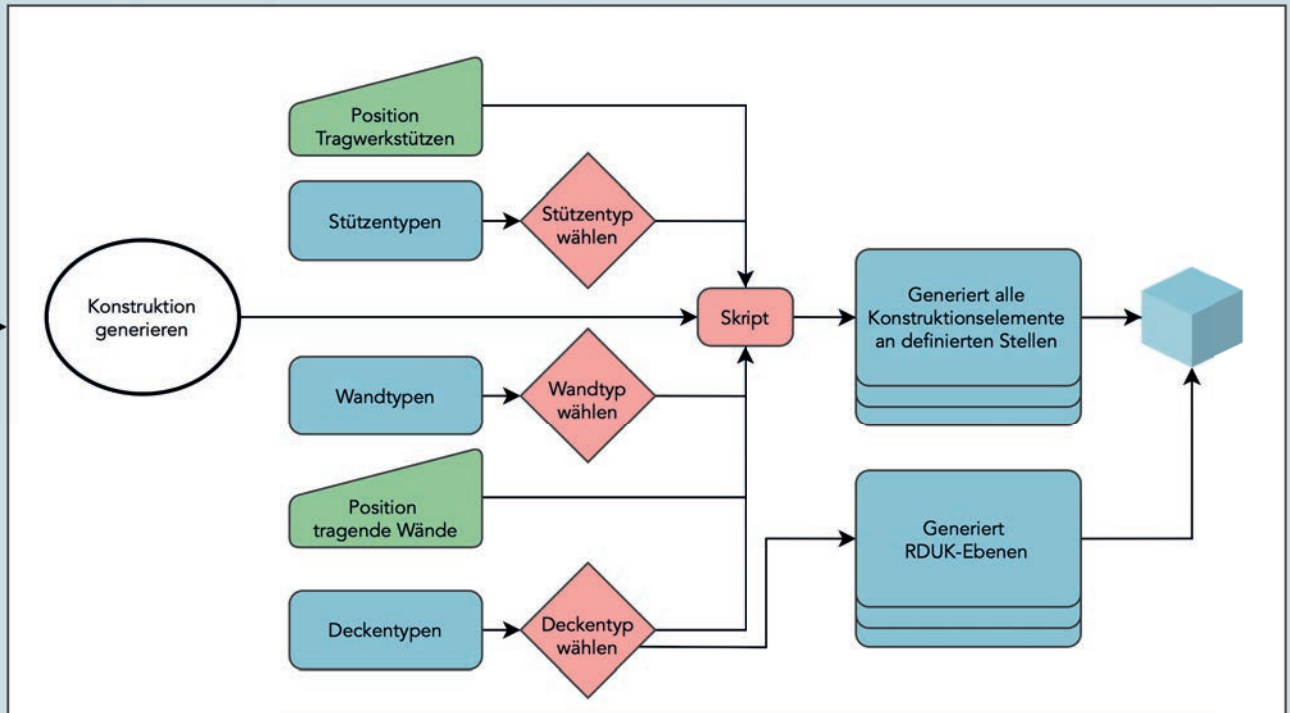
1. Grundgerüst



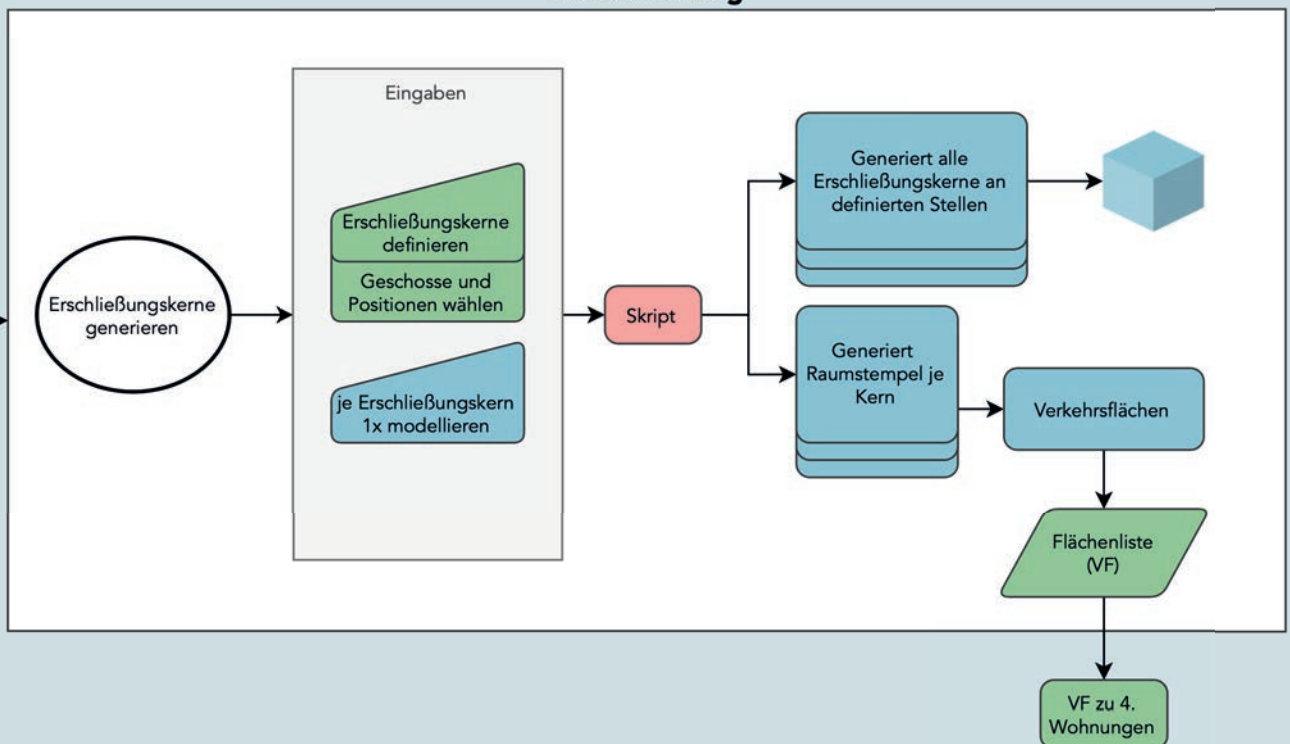
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 26: Workflow-Diagramm: Modell generieren (1-3)

2. Konstruktion



3. Erschließung



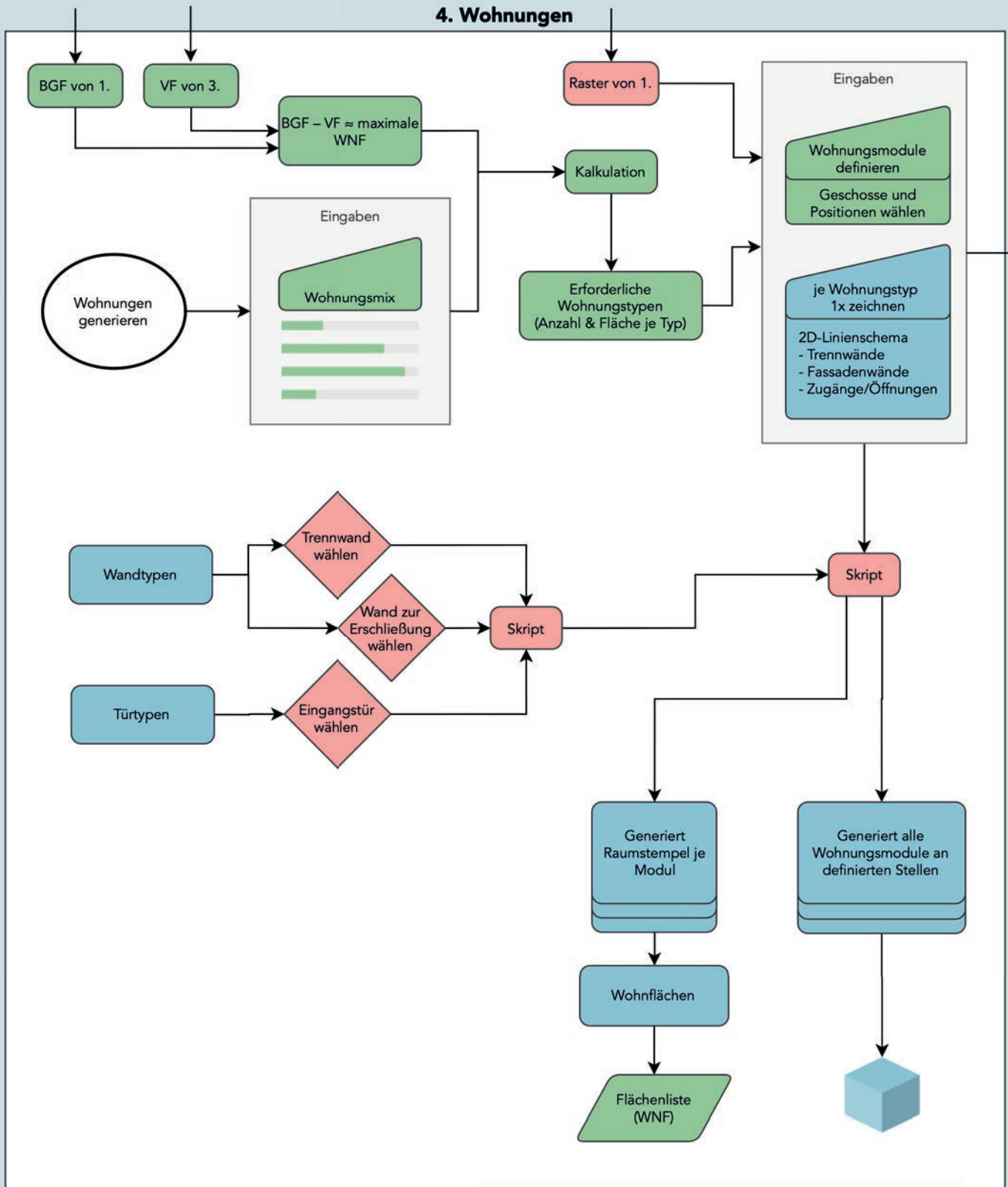
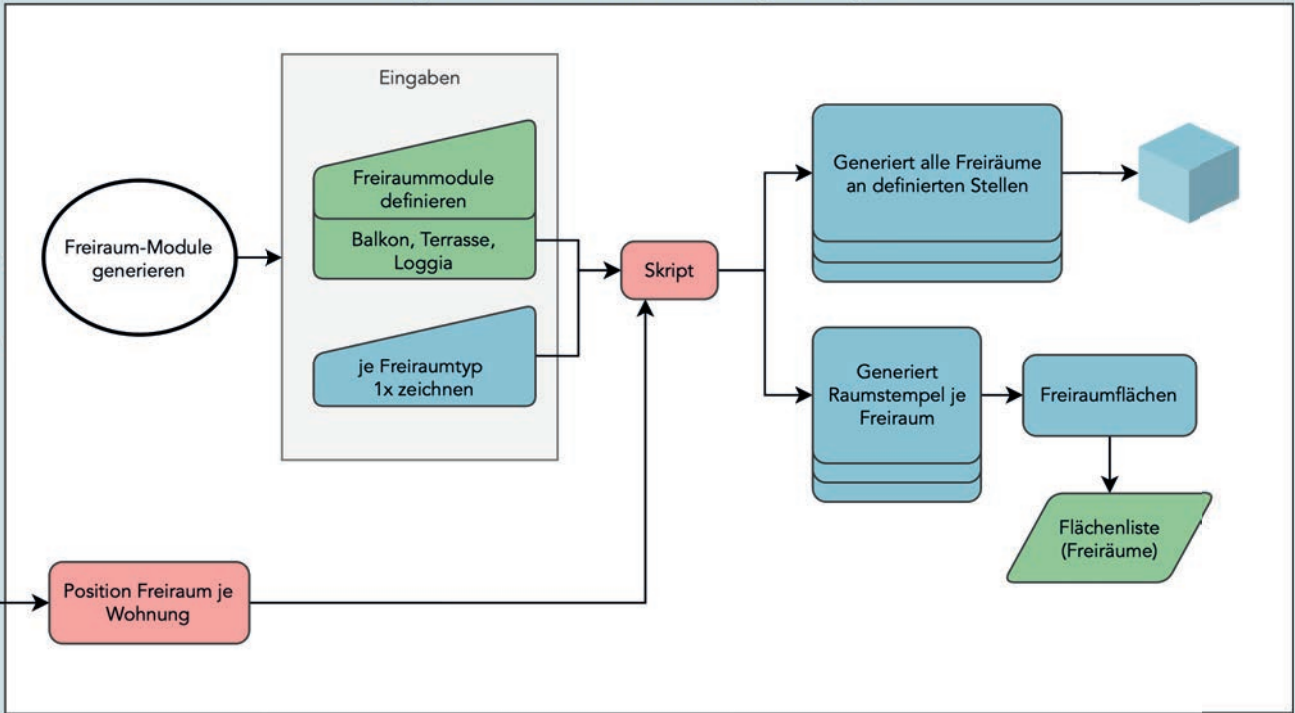


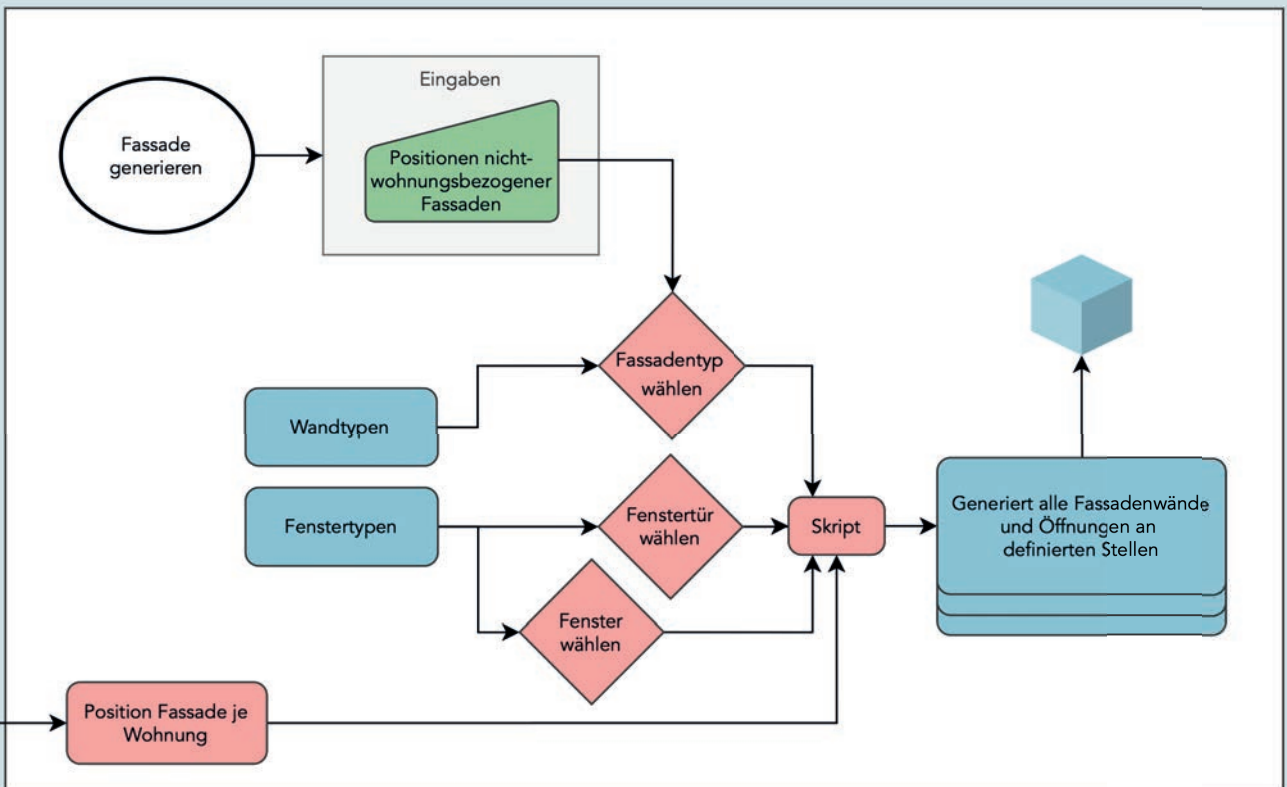
Abb. 27: Workflow-Diagramm:
Modell generieren (4-6)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available to print at TU Wien Bibliothek.

5. private Freiräume (wohnungsbezogen)



6. Fassade



3.3. Auswertung: Relevante Parameter

Die Unterteilung eines Gebäudes nach einzelnen Typologien bildet den ersten Schritt zur Parametrisierung. Ziel ist es mittels dieser Parameter möglichst unterschiedliche Gebäudeformen generieren zu können. Außerdem bietet ein parametrisches Modell den Vorteil Änderungen dynamisch vornehmen zu können. Diese Anpassungen werden auf der Grundlage von Bewertungs-Kriterien, die das Modell bestmöglich erfüllen soll, vorgenommen. Durch welche Kriterien ein Projekt bewertet werden soll, ist abhängig von den Interessen und Prioritäten der Beteiligten. Dennoch gibt es bestimmte Faktoren, die sich häufiger durchsetzen als andere. Dies wird durch verschiedene Bewertungsleitfäden, die nachfolgend beschrieben werden, offensichtlich.

Generell kann jedes Projekt je nach Fortschritt der Planung unterschiedlich genau bewertet werden. Das im Rahmen dieser Arbeit generierte 3D-Modell wird wenige Informationen über architektonische Qualitäten, die Energieversorgung, oder etwa die Ressourceneffizienz beinhalten. Deswegen können diese Kriterien durch die Änderung einzelner Parameter des Modells nicht beeinflusst werden. Dies bedeutet keineswegs, dass solche Kriterien von geringerer Relevanz sind. Sie müssen jedoch außerhalb des parametrischen Entwurfs bewertet werden. Das generierte Modell bietet die Möglichkeit jene Faktoren algorithmisch zu optimieren, die in direktem Zusammenhang mit den BIM-Elementen stehen. Ergebnisse und Konflikte, die sich im Planungsverlauf ergeben und dieses Grundgerüst betreffen, sollen dann durch die vorhandenen algorithmischen Verknüpfungen einfacher optimiert beziehungsweise behoben werden können.

3.3.1. Grundlagen für Bewertungskriterien

Verschiedene Institutionen haben sogenannte Bewertungs-Leitfäden oder Kriterien-Leitfäden entwickelt, um wichtige Faktoren zu strukturieren und verschiedene Wohnbauprojekte in ihren Eigenschaften vergleichbar zu machen. Die folgenden Kapitel geben einen Einblick in jene Kataloge und Studien, die für die Auswahl der Bewertungskriterien von ALBIS herangezogen werden.

Serieller Wohnungsbau

Das algorithmische Modell bietet durch sich wiederholende Elemente eine gute Grundlage, um eine serielle Produktion und Bauweise anzudenken. Eine effizientere Projektabwicklung durch Kosten- und Zeitersparnisse wird häufig als Argument vorgebracht. Das tatsächliche Einsparungspotential ist

jedoch stark von unterschiedlichen Aspekten abhängig. Die Leistungsfähigkeit eines seriellen Wohnbaus kann nur anhand von Analysen derartiger realisierter Projekte geprüft werden. Die im Rahmen der IBA Berlin 2020 durchgeführte Studie über seriellen Wohnungsbau und Standardisierung von Andrea Benze, Julia Gill und Saskia Hebert hatte das Ziel eine Auswahl an seriell gefertigten Projekten zu analysieren und zu bewerten. Hierbei wurden die Projekte in Bezug auf Zeiteffizienz, Kosteneffizienz, Energieeffizienz, Flexibilität und Vorfertigungsgrad überprüft. Sowohl die Zeiteffizienz als auch die Kosteneffizienz können nicht direkt auf einzelne Eigenschaften der Projekte übertragen werden. Es wurde jedoch eine gewisse Proportionalität zum Vorfertigungsgrad festgestellt. Die Flexibilität wird auf zwei unterschiedliche Arten definiert. Einerseits wird der Aspekt der Anpassbarkeit des eingesetzten seriellen Systems auf unterschiedliche Orte bewertet. Dieser Faktor wird im vorliegenden Rahmenwerk vernachlässigt, da dies nur bei der Untersuchung eines Konzepts auf mehreren Bauplätzen sinnvoll ist und nicht unmittelbar die internen Parameter des Modells betrifft. Andererseits lässt sich die Flexibilität auch im Sinne einer Anpassbarkeit beurteilen. Inwiefern der entworfene Grundriss, Spannweiten und tragende Elemente eine sich wandelnde Nutzung zulassen. Sei es aufgrund von sich ändernden Wohnbedürfnissen oder ob eine andere Nutzung im Bauwerk möglich ist. Der Aspekt der Innovation und architektonischen Qualität ist ebenfalls eine sehr wichtige Eigenschaft jedes Projekts, liegt aber außerhalb des messbaren Bereichs dieses algorithmischen Modells.

Wohnfonds Wien

Wohnfonds Wien ist eine gemeinnützig tätige Organisation, deren Aufgabe die Koordination zwischen Bauträgern und Magistratsabteilungen der Stadt Wien ist. Unter anderem publizierte sie ein 4-Säulen-Modell (Wohnfonds_Wien, 2017), das die Anforderungen an Ökonomie, Soziale Nachhaltigkeit, Architektur und Ökologie beschreibt und damit die zeitgenössischen Qualitäten für geförderten Wohnbau vorschlägt.

Unter Ökonomie fallen alle Kosten die im Sinne einer Leistbarkeit von Wohnraum entscheidend sind. Grundstückskosten, Gesamtbaukosten, Nutzerkosten und Bauausstattung werden hier aufgezählt. Die Soziale Nachhaltigkeit verlangt, dass die Grundrisse unterschiedlichen Nutzungen und Wohnformen genügen. Weiters sind soziale Durchmischung, Hausorganisation und soziale Infrastruktur Teil dieser Säule. Unter Architektur fallen alle Kriterien, die die Stadtstruktur, Gebäudestruktur, Wohnstruktur und deren Gestaltung in Einklang bringen. Die vierte Säule beurteilt die Ökologie eines Projekts. Die Verbesserung energetischer Standards, erneuerbare Energien, Reduktion von Emissionen bei der Produktion, aber auch das Erreichen von „Wohngesundheit“, oder allgemein der Bezug zu Grün- und Freiräumen, wird hier bewertet.

TQB-Bewertung

TQB steht für „Total Quality Building“ und ist ein modular aufgebautes Gebäudebewertungssystem der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, kurz ÖGNB. Im Jahre 2001 wurde das Gebäudezertifikat (als vom österreichischen Bund initiiertes Forschungsprojekt) sukzessive weiterentwickelt und ist seit 2010 in die ÖGNB eingegliedert. Das Gebäudezertifikat umfasst die Aspekte Nutzerkomfort und Gesundheit, Infrastruktur und Ausstattung, Ressourceneffizienz, Umweltschonung sowie Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit und soll ermöglichen, Gebäude mit verschiedenen Nutzungen zu bewerten und auf Nachhaltigkeit zu prüfen. Weiters dient TQB als Werkzeug, um nicht nur während der Errichtung sondern auch schon in den Planungsphasen die Qualität der Projekte zu erhöhen (Benze et al, 2019).

Das Bewertungs-Tool dient der Bewertung von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden. Die Bewertungskriterien gliedern sich in fünf Kategorien:

- Standort und Ausstattung
- Wirtschaft und technische Qualität
- Energie und Versorgung
- Gesundheit und Komfort
- Ressourceneffizienz

3.3.2. Bewertungskriterien für ALBIS

Anhand der zuvor beschriebenen Beurteilungskataloge bilden sich folgende fünf Kriterien heraus, die direkt am erstellten Modell überprüfbar sind. Weitere Faktoren sollen aber nicht außer Acht gelassen werden. Die gewählten Aspekte sollen die Möglichkeit aufzeigen, dass ein breites Spektrum an Kriterien mittels eines Algorithmus gestützten Entwurfs direkt überprüft werden kann.

Flächenbewertung

Die Bewertung der Flächennutzung eines Projekts dient einer ersten Überprüfung der Wirtschaftlichkeit des Entwurfs. Eine erste Auswertung findet bereits bei der Erstellung der Wohnungen statt. Dabei wird die Bruttogeschossfläche (BGF) der Erschließungsfläche und deren Konstruktionsfläche gegenübergestellt, um die verfügbare Wohnnutzfläche zu ermitteln. Alle wohnungsbezogenen Konstruktionsflächen sowie Schächte und Freiflächen sind erst danach generiert worden, stehen aber mit der Fertigstellung des generierten Modells zur Verfügung und lassen sich auslesen.

Nach der ÖNORM B 1800 (2013) gliedern sich die Flächen folgendermaßen (Abb. 28):

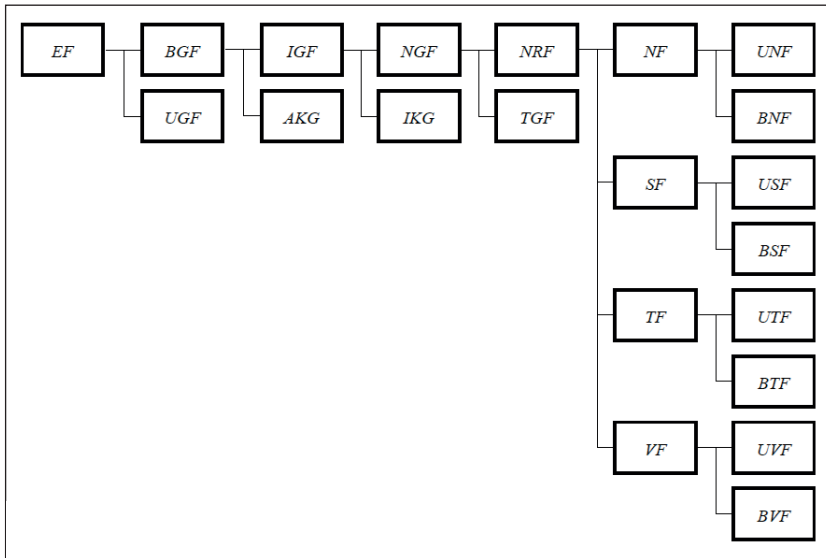


Abb. 28: Geschossbezogene Grundflächen (ÖNORM B 1800, 2013)

Brutto-Grundfläche (BGF)

Die gesamte bebaute Grundfläche aller Geschosse dient als absoluter Wert, der alle weiteren Flächen umfasst.

Konstruktions-Grundfläche (KG)

Die Konstruktions-Grundfläche ist die Summe aller Flächen, die durch konstruktive Bauteile eingenommen werden.

Netto-Grundfläche (NGF)

Die Netto-Grundfläche beschreibt alle Flächen der BGF, die nicht durch konstruktive Elemente bebaut sind. Daraus ergibt sich: $BGF = KG + NGF$

Netto-Raumflächen (NRF)

Die NGF lässt sich wiederum in Netto-Raumflächen (NRF) und Trennwand-Grundflächen (TGF) unterteilen. Die NRF ist schließlich jene Fläche, die nicht durch raumbildende Elemente besetzt ist und einer gewissen Nutzung (Nutzfläche, Sanitärfläche, Technikfläche und Verkehrsfläche) zugeordnet werden kann: $NRF = NF + SF + TF + VF$

Tendenziell gilt, je geringer die Konstruktions-Grundfläche im Verhältnis zur Netto-Grundfläche ist, desto wirtschaftlicher ist der Grundriss, da verhältnismäßig mehr nutzbarer und bewohnbarer Raum geschaffen wurde und weniger konstruktive Elemente dafür eingesetzt wurden. Dieser Zusammenhang steht jedoch immer in einem vernünftigen Verhältnis zu den resultierenden Spannweiten der Tragstruktur.

Weiters lässt sich noch das Verhältnis der Nutzfläche und Sanitärfläche,

also der Wohnnutzfläche, zur Verkehrsfläche und Technikfläche bewerten. Ein kompakter Erschließungskern mit ebenso optimierten Technikflächen bietet mehr Fläche für Wohnungsgrundrisse.

Energiebewertung

Die Energieeffizienz kann in der frühen Phase des Entwurfs freilich nicht detailliert bewertet werden. Erste wichtige Daten wie die Gebäudehülle, Orientierung der Fassaden und Öffnungen sind jedoch bereits vorhanden und können in eine Berechnung einfließen. Der Heizwärmebedarf (HWB) gibt laut OIB Richtlinien (April 2019) an, wieviel Energie den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten. Dieser Wert wird in kWh/m² im Jahr angegeben und ermöglicht so eine relativ gute Vergleichbarkeit einzelner Gebäude oder Entwurfsvarianten. Nach der OIB-Richtlinie 6 (Stand: April 2019) soll der HWB für neu errichtete Wohnbauten folgende Formel erfüllen: $HWB_{min} < 12 \cdot (1 + 3/l_c, OIB)$, wobei der maximale Heizwärmebedarf kleiner als 54,4 kWh/m².a sein soll. Weiters kann der errechnete HWB in einzelne Klassen (A++ bis G) unterteilt werden, um einen groben Überblick zu geben (Abb. 29). Da Neubauten maximal 54,4 kWh/m².a erreichen dürfen, lässt sich die Bewertung dieser Projekte auf die Energieklassen B (50–100 kWh/m².a), A (25–50 kWh/m².a), A+ (15–25 kWh/m².a) und A++ (10–15 kWh/m².a) einschränken.

Der HWB beschreibt die Energieeffizienz keineswegs vollständig. Da für die Berechnung die grundlegenden Elemente wie Standort und Orientierung, thermische Hülle, Heiz- und Kühlsysteme, Lüftung und Dämmeigenschaften der eingesetzten Bauteile einbezogen werden, dient dieser Wert trotzdem als hilfreicher Richtwert.

Derzeit gibt es keine Schnittstelle zwischen Revit und den verfügbaren Programmen zur Erstellung eines in Österreich gültigen Energieausweises. Deshalb muss dieser Bewertungsprozess & der Schritt der Datenübertragung für ALBIS noch manuell erfolgen.

Abb. 29: HWB und Energieklassen (OIB Richtlinie 6, 2015)

Klasse	HWB _{Ref,SK} [kWh/m ² .a]	PEB _{SK} [kWh/m ² .a]	CO ₂ _{SK} [kg/m ² .a]	f _{GEE} [-]
A++	10	60	8	0,55
A+	15	70	10	0,70
A	25	80	15	0,85
B	50	160	30	1,00
C	100	220	40	1,75
D	150	280	50	2,50
E	200	340	60	3,25
F	250	400	70	4,00
G	> 250	> 400	> 70	> 4,00

Kostenbewertung

Um den Kostenfaktor mit ALBIS bewerten zu können, sollen alle generierten Elemente und deren geschätzte Kosten mit Referenzwerten verglichen werden. Da sowohl die Elementkosten des vorliegenden Entwurfs, als auch die Referenzkosten eine Variable darstellen, müssen beide Wertgruppen anpassbar sein. Die Referenzkosten sind kalkulierte Preisspannen von mehreren ähnlichen Bauvorhaben. Eine große Menge an Referenzobjekten ergibt dabei einen besseren Durchschnittsrahmen. Ob für die Anwendung von ALBIS interne Unternehmensdaten genutzt werden oder auf die Informationen von Baukostendatenbanken, wie sie beispielsweise vom Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKl) angeboten werden, zurückgegriffen wird, soll dabei im Ermessen des Planers liegen. Die Referenzdaten geben einen Kostenbereich mit Minimal- und Maximalwert vor, in dem sich die Kosten des geplanten Elements befinden sollen. Je nach Position zwischen diesen beiden Randwerten erhält jedes einzelne Element eine Wertung. Multipliziert mit der jeweiligen Menge ergibt die Summe aller generierten Elemente eine Gesamtpunktezahl für die Kostenbewertung. Auf diese Weise ist die Bewertung des Projekts immer Abhängig von den Referenzkosten. So wird ermöglicht, dass die Kostenbewertung auch projektübergreifend vergleichbar ist. Die Summe der Element-Kosten gibt einen wichtigen Kennwert an, der für den Vergleich von generierten Varianten eines Projekts hilfreich sein kann. Dieser Betrag soll darum, auch wenn er nicht direkt in die Punktwertung einfließt, in der Kostenbewertung ersichtlich sein. Für die Kostenschätzung nach ÖN B1801 (2013) können die automatisiert errechneten Summen der Element-Kosten genutzt werden.

Flexibilität

Die Flexibilität messbar zu machen ist nur mittels einer Liste an Kriterien möglich, die nach der jeweiligen Relevanz gewichtet werden müssen und entsprechend bei Erfüllung Punkte bringen. Das TQB-Bewertungstool vergibt hier Punkte für eine flexible Dimensionierung der Konstruktionselemente und bewertet die Erweiterbarkeit und Entkernbarkeit (Abb. 30). In der Studie „Serieller Wohnungsbau“ (Benze et al, 2019) wird die Flexibilität ebenfalls in Bezug auf Spannweiten und wandelbare Nutzung des Gebäudes bewertet. Die Kriterien der TQB-Bewertung werden für ALBIS übernommen.

Abb. 30: TQB-Bewertungstool: Kriterien der Flexibilität und Dauerhaftigkeit (Web URL < <https://www.oeg-nb.net/zertifikat.htm?typ=wb&sop=7583,7615,7585,7652>>, 15.02.2020)

B.3 Flexibilität und Dauerhaftigkeit <small>↕</small> <small>[mehr Informationen]</small>	40	0
B.3.1 Dimensionierung und statisches Konzept <small>↕</small>	20	0
<input type="checkbox"/> Die statische Dimensionierung der Grundkonstruktion (tragende Elemente, Decken) erlaubt Nutzungsänderungen (von Wohnen zu Büro/ kleinen Dienstleistungsbetrieben/ Betreuungseinrichtungen).	10	
<input type="checkbox"/> Das Gebäude weist in mind. 15 Prozent der Nutzfläche durchgehend Raumhöhen von mindestens 2,80 Meter auf.	5	
<input type="checkbox"/> Die Grundkonstruktion beinhaltet leicht austauschbare Subsysteme (bei nicht tragenden Elementen).	10	
<input type="checkbox"/> Keine der genannten Maßnahmen wurde durchgeführt.	0	
B.3.2 Erweiterbarkeit / Entkernbarkeit <small>↕</small>	20	0
<input type="checkbox"/> Die Nutzungseinheiten sind bezüglich der Grundrissgestaltung leicht zusammenlegbar / trennbar.	5	
<input type="checkbox"/> Die Versorgungsschächte befinden sich nur in als fix betrachteten Wandbauteilen und besitzen Reserven für eine Erweiterung der Nutzung des Gebäudes.	5	
<input type="checkbox"/> Die Elektroinstallationen wurden mittels Bus-Systemen ausgeführt oder es wird zumindest eine ausreichende Kapazität an Leerverrohrungen nachgewiesen.	5	
<input type="checkbox"/> Es liegt eine ausführliche Beschreibung der baulichen und haustechnischen Maßnahmen für etwaige Nutzungsänderungen vor.	5	
<input type="checkbox"/> Keine der genannten Maßnahmen wurde durchgeführt.	0	
B.3.2 Nachweis: <small>[mehr Informationen]</small> <small>[neue Datei hochladen (max. 5,00 MB)]</small>		

Vorfertigungsgrad

Wie in der zuvor erwähnten Studie (Benze et al, 2019) beschrieben, hat der Grad der Vorfertigung einen proportionalen Einfluss auf die Zeit- und Kosteneffizienz. Aus diesem Grund und weil der Fokus auf einer vorgefertigten und modularen Wohnform liegt, soll dieser Faktor ebenfalls ein Kriterium in der Bewertung mit ALBIS darstellen.

Das Verhältnis zwischen vorgefertigten Elementen und auf der Baustelle erzeugten Bauteilen stellt einen ersten Richtwert dar. In Bezug auf das generierte Modell können alle Bauteile und Modulgruppen und deren Anzahl und Menge aufgelistet werden und jedem Element oder Elementtypen ein Vorfertigungsgrad in Prozent zugewiesen werden. Daraus ergibt sich der Anteil der Vorfertigung im Verhältnis zur Gesamtmenge aller Bauteile. Da eine einzelne Geschossdecke aufgrund ihrer Masse ausschlaggebender ist als eine Stütze, wird der Vorfertigungsgrad nicht nach der Stückzahl, sondern nach dem Volumen der Elemente berechnet. Auch wenn dieses Verhältnis nur ein grober Richtwert und kein direkter Indikator für die Wirtschaftlichkeit des Projekts ist, so dient der Wert dennoch als Grundlage für weitere Überlegungen in Bezug auf Entwurfsvarianten und für die Umsetzung des Projekts und erfüllt den Zweck, bereits in der frühen Planung das Thema der Vorfertigung einzubeziehen.

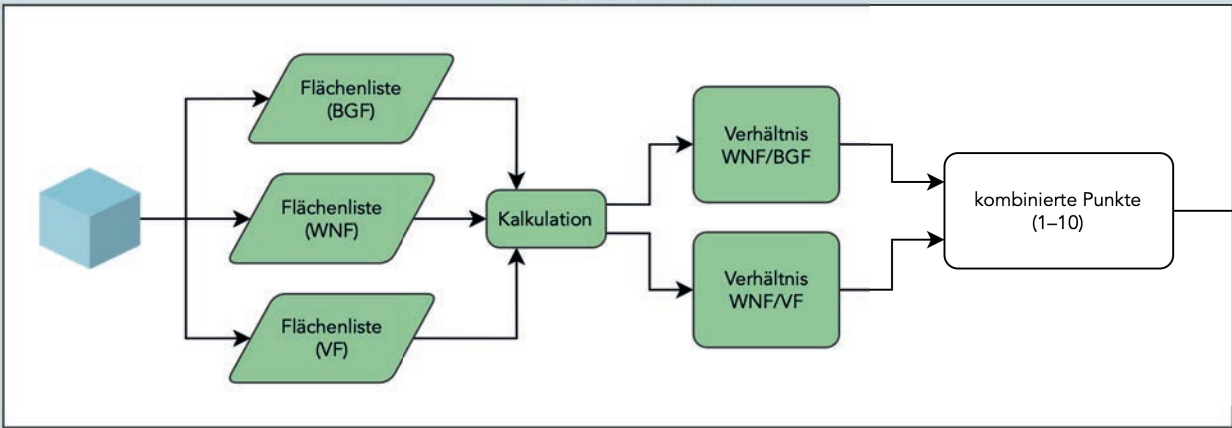
3.3.3. Bewertungssystem

Um die einzelnen Kriterien auswerten und auch deren Prioritäten je nach Präferenz gewichten zu können, wird ein Punktesystem mit 1 bis 10 Punkten verwendet, wobei 10 Punkte das beste Ergebnis und 1 Punkt das schlechteste Ergebnis bezeichnen. Der Einsatz eines 10-Punkte-Systems ermöglicht eine größere Differenzierung verschiedener Ergebnisse als eine 5-Punkte-Skala und besitzt trotzdem eine gut erfassbare Dimension. Eine einfache Nachvollziehbarkeit der einzelnen Kalkulationsschritte ist ein weiterer Vorteil. Zusätzlich zu der Punktevergabe wird das Punkteergebnis jedes Kriteriums mit einem Faktor multipliziert, der eine Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien ermöglicht.

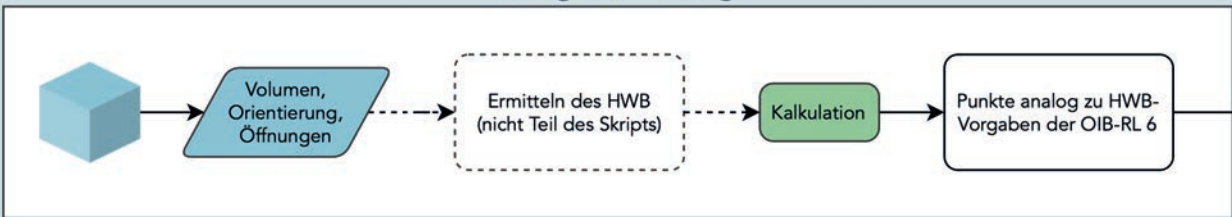
3.3.4. Prozess-Schema: Auswertung generieren

Auf der folgenden Doppelseite (Abb. 31) wird der schematische Aufbau des Auswertungsschritts dargestellt. Im Prozess werden die benötigten Parameter aus dem Modell ausgelesen und fließen in die Berechnung der Bewertungskriterien ein. Strichliert dargestellte Prozessschritte finden außerhalb des Skripts statt.

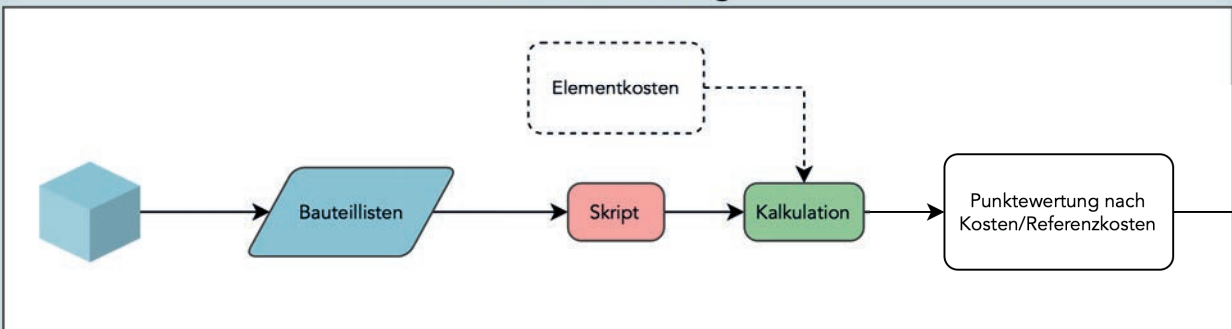
Flächenbewertung



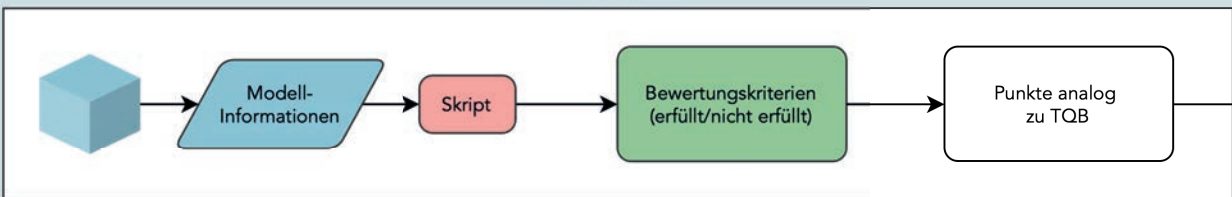
Energiebewertung



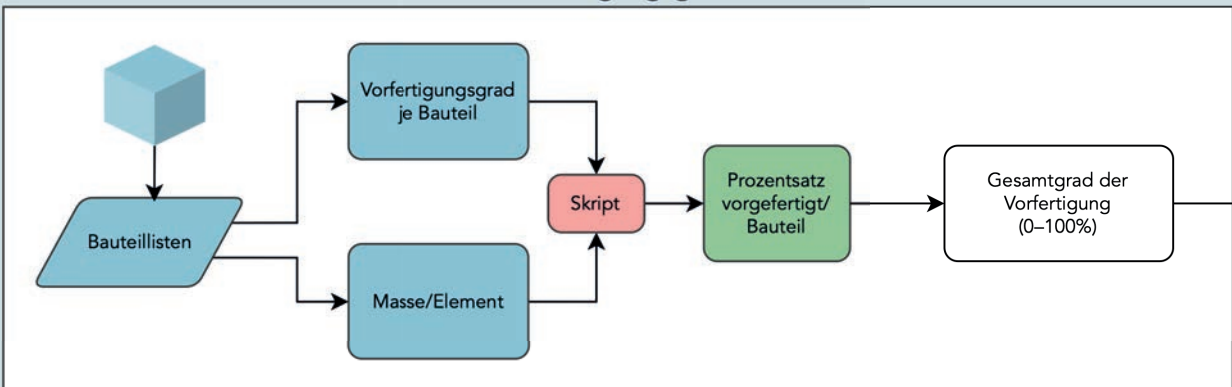
Kostenbewertung



Flexibilität



Vorfertigungsgrad



Gesamtbewertung

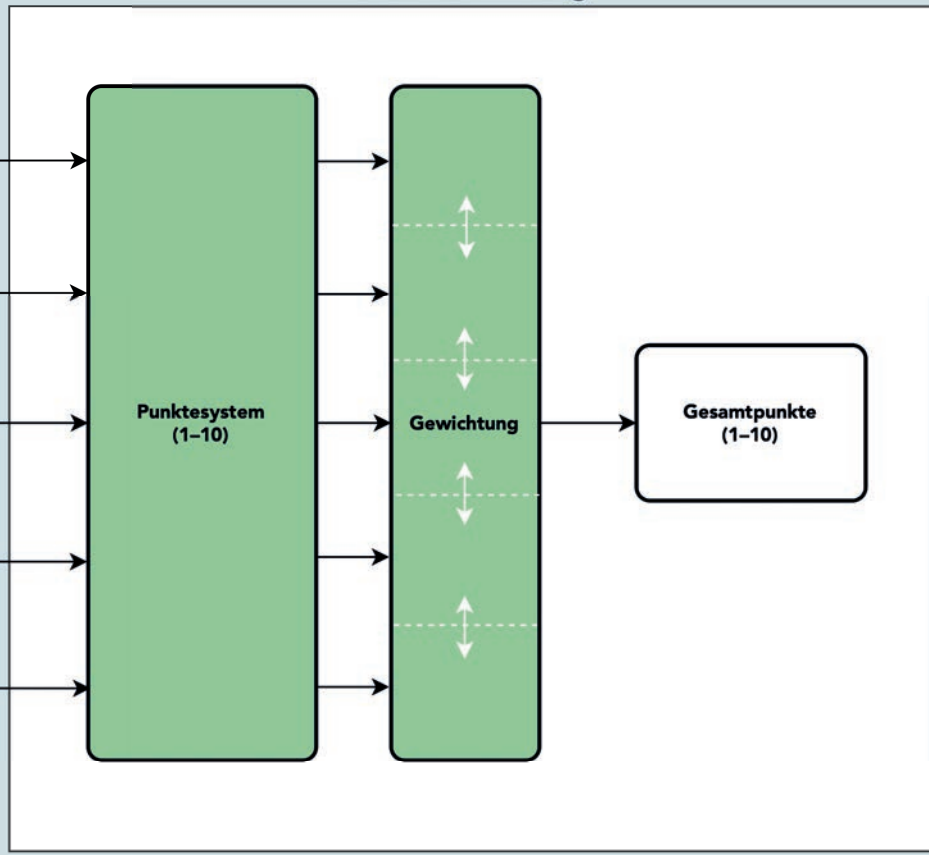
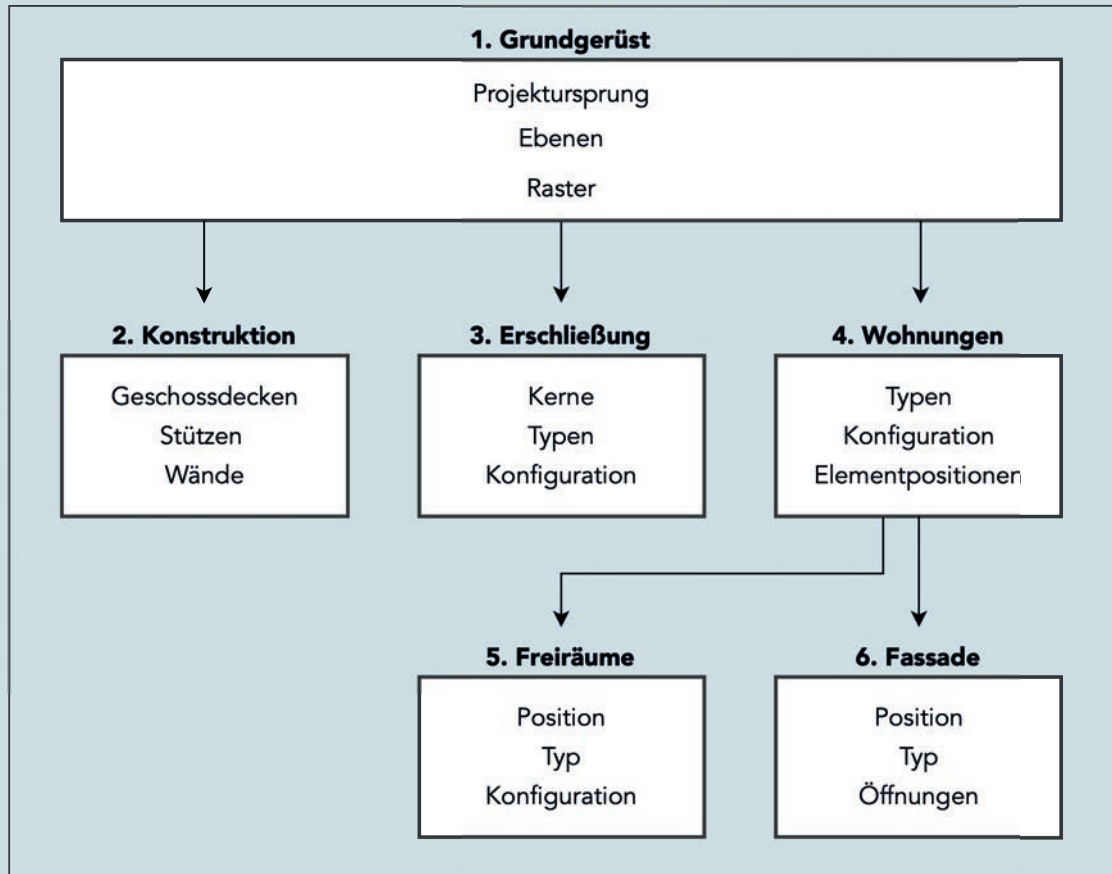
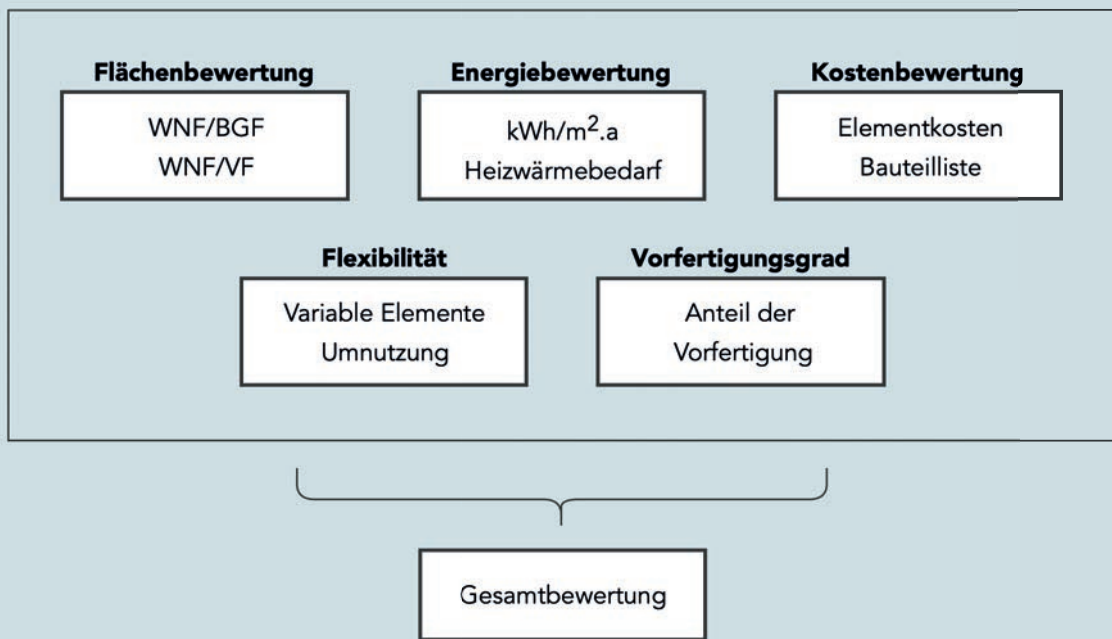


Abb. 31: Workflow-Diagramm: Auswertung generieren

MODELL GENERIEREN



AUSWERTUNG GENERIEREN



3.4. Parameter der Modellbildung

Die beiden Schritte der Modellierung und der Auswertung werden mittels Algorithmen und BIM automatisiert. Zusammenfassend werden die folgenden Teilschritte und Parameter in ALBIS integriert (Abb. 32):

Modell generieren

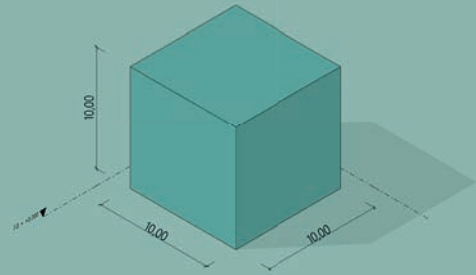
Beim Generieren des Modells wird der Ablauf nach den einzelnen Bestandteilen des Wohnbaus strukturiert. Die Abbildung links zeigt den schematischen Verlauf von ALBIS und die wesentlichen Elemente der einzelnen Teilbereiche. Die Eingabe der Parameter gliedert sich in ein Grundgerüst (1.), das als Basis für alle weiteren Elemente dient. Es werden Raster und Geschossebenen in Abhängigkeit zum Projektursprung erzeugt. Innerhalb dieses erzeugten dreidimensionalen Systems aus Raster und Ebenen können die Elemente der Tragkonstruktion (2.), der Erschließung (3.) und der Wohnungen (4.) verortet und generiert werden. Die Freiräume (5.) und die Fassaden (6.) werden schließlich abhängig von den Wohnungen positioniert. Das Modell wird dabei schrittweise generiert und kann gleichzeitig visuell überprüft und durch nicht generierbare Elemente ergänzt werden. Abschließend ist das generierte BIM-Modell bereit, um den Schritt der Auswertung zu durchlaufen.

Auswertung generieren

Bei der Auswertung werden alle Informationen, die im BIM-Modell generiert wurden, genutzt, um einen automatisierten Auswertungsprozess zu durchlaufen. Die Bewertung erfolgt dabei nach folgenden Kriterien: Die Flächenbewertung misst das Verhältnis zwischen der Wohnnutzfläche und der Bruttogrundfläche sowie der Verkehrsfläche. Je höher der Anteil der Wohnnutzfläche ist, umso besser ist die flächenmäßige Ausnutzung des Gebäudes. Für die Energiebewertung stehen die 3D-Daten für eine Berechnung des Heizwärmebedarfs zur Verfügung. Die Berechnung erfolgt außerhalb des Skripts, da derzeit keine digitale Schnittstelle zu einem Berechnungsprogramm vorliegt. Die Ergebnisse der Berechnung können jedoch wieder in die Auswertung von ALBIS eingefügt werden, um so Teil der Gesamtbewertung zu werden. Für die Kostenbewertung werden Bauteil- und Mengenlisten generiert, die mit den geschätzten Elementkosten hinterlegt und im Verhältnis zu Referenzkosten bewertet werden. Weiters kann jedem Element ein Prozentsatz der Vorfertigung zugeschrieben werden, der dann in die Bewertung des Vorfertigungsgrads einfließt. Ein höherer Vorfertigungsgrad stellt eine bessere Bewertung dar. Schließlich soll auch die Flexibilität in der Nutzung bewertet werden. Das Modell erhält Punkte abhängig von den eingesetzten variablen Elementen und durch anpassbare Grundrissstrukturen. Abschließend werden alle fünf Bewertungen gewichtet und zu einer Gesamtwertung zusammengefasst.

Abb. 32: Schematische Darstellung des algorithmischen Skripts ALBIS

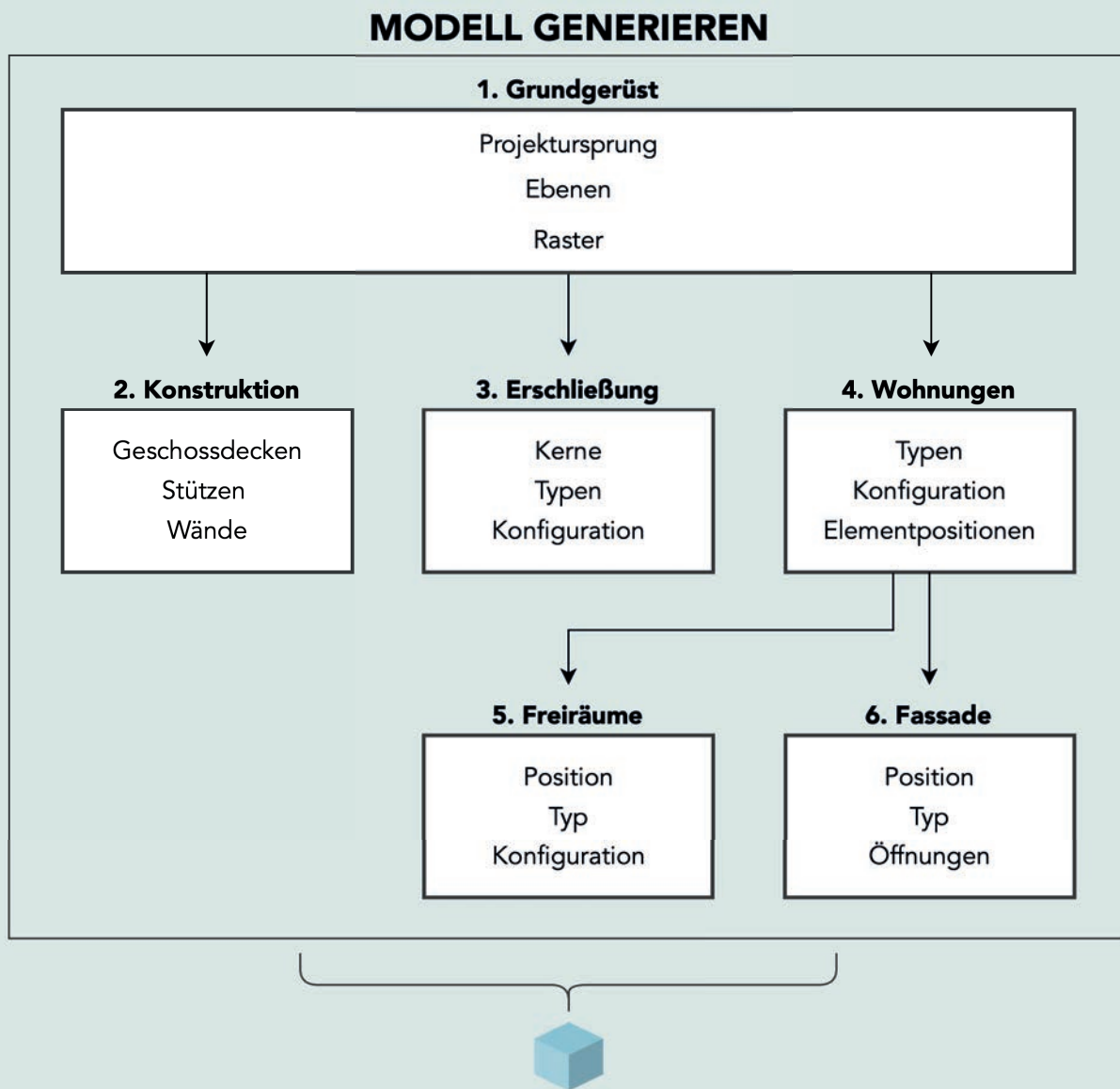
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



K A P I T E L V I E R

ALGORITHM-AIDED BIM SKRIPT: ALBIS

Abb. 33: Schematische Darstellung des Workflows von Schritt 1 mit den erforderlichen Parametern zur Erstellung des algorithmischen BIM-Modells



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Das Skript gliedert sich in zwei Teile. Der erste Schritt ist die algorithmische Erstellung eines BIM-Modells. Aufgeteilt in einzelne Eingabeschritte in Dynamo, Excel und Revit werden nacheinander die notwendigen Parameter gesetzt, um das Modell zu generieren (Abb. 33). Mit Abschluss der Erstellung einer Variante wird das Modell im zweiten Schritt ausgewertet. Die erforderlichen Daten können aus dem BIM-Modell mit Dynamo ausgelesen und wiederum in Excel analysiert werden. Als Folgeschritt können die Erkenntnisse aus der Bewertung genutzt werden, um die Parameter, die im ersten Schritt gesetzt wurden, so zu verändern, dass sich diese beim erneuten Durchlauf von ALBIS verbessern. Dieser iterative Prozess soll so lange verfolgt werden, bis das Ergebnis ausreichend optimiert wurde. Die vollständigen Prozesse des Skripts in Dynamo werden im Anhang 1–7 abgebildet.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte erläutert. In welchem Programm der jeweilige Schritt erfolgt, wird mittels Kurzzeichen (D, R, E) markiert.

- D für Dynamo
- R für Revit
- E für Excel

4.1. Schritt Eins: Erstellen des algorithmischen BIM-Modells

Im ersten Schritt wird das Gebäudemodell erstellt. Nach vorhergehender Analyse der Grundlagen soll ein grober Vorentwurf analog passieren, der die Möglichkeiten des Bauvorhabens abschätzt. Erste Einschränkungen wie Grundgrenze, Baufluchtlinien und zulässige Gebäudehöhen geben einen grundlegenden Rahmen für das Gebäudemodell.

4.1.1. Arbeitsumgebung

Zuerst wird die Arbeitsumgebung eingerichtet. In Revit wird ein Gebäudekörper sowie eine Ebene vorausgesetzt. Der Gebäudekörper ist in diesem Fall quaderförmig und besitzt die Parameter für Breite, Länge und Höhe. Diese Herangehensweise ermöglicht es theoretisch auch andere Volums-Formen, neben der eines Quaders, als Ausgangsvolumen zu nutzen. Körperfamilien können in Revit mit beliebigen Grundformen und Parametern erstellt werden. Der Körper wird nun auf der Nullebene so platziert, dass der Nullpunkt an der linken unteren Ecke auf der richtigen Position liegt. Das Grundgerüst generiert sich in Analogie zum kartesischen Koordinatensystem von diesem Punkt aus in die positiven Richtungen entlang der X-, Y- und Z-Achse der Projektdatei. Als Nächstes müssen die einzelnen Programme miteinander verknüpft werden. Dazu wird in Dynamo der Körper aus Revit verknüpft und der Dateipfad zum Excel-File angegeben (Abb. 34: 1).

- 1 **Parameter und Elemente:**
- R Körper platzieren (X/Y)
Ebene (Z)
→ Ursprung (X/Y/Z)
- D Körper zuweisen
Excel zuweisen

2a Parameter und Elemente:

- D** Gebäudebreite
- Gebäudelänge
- Gebäudehöhe
- Geschosshöhe
- Rasteranzahl X-Richtung
- Rasteranzahl Y-Richtung
- Abstand Raster zu Außenkante

2b Parameter und Elemente:

- E** Eingaben wie in 2a
- Zusätzlich:
 - Individuelle Rasterabstände
 - Individuelle Rasternamen
 - Individuelle Geschosshöhen

3 Parameter und Elemente:

- E** Tragwerkstypen
(nach Geschossen)
- Stützenpositionen
- Wandpositionen
- D** Geschossdeckentyp
- Stützentyp
- Wandtyp

4.1.2. Grundgerüst

Zur Verortung der einzelnen Elemente innerhalb des Volumens dient ein Raster. Dieses kann in zwei Varianten erzeugt werden:

Empirisch: Mittels Regler in Dynamo werden das Körpervolumen in seinen Dimensionen sowie das Raster und die Geschosshöhen dynamisch und in Echtzeit angepasst (Abb. 34: 2a). Diese Methode ist vor allem in einer frühen Entwurfsphase bei der Untersuchung der Volums-Dimensionen am Bauplatz und günstigen Spannweiten des Rasters sinnvoll.

Strategisch: Mittels Eingabe der exakten Abmessungen und Rasterabstände in der Excel-Tabelle können individuelle Anpassungen auch auf einzelne Rasterlinien und deren Bezeichnung getätigt werden. Wurde zuvor die empirische Variante genutzt, so sind die daraus resultierenden Werte bereits in der Tabelle eingefügt und können nun spezifisch editiert werden. Eine Differenzberechnung ermöglicht eine schnelle Überprüfung über die Ausnutzung des Volumens (Abb. 34: 2b).

Durch diese Parameter lässt sich ein Grundgerüst generieren, in dem sich die nachfolgenden Elemente durch Rasterpunkte und Ebenen verorten lassen.

In Anhang 1 sind die Dynamo-Prozesse für das empirische Generieren dargestellt. In Anhang 2 wird die strategische Generierung abgebildet.

4.1.3. Konstruktion

Nachdem das Grundgerüst generiert wurde, werden als erste Elemente jene der Tragstruktur hinzugefügt. Über eine Tabelle können einzelne Tragwerkstypen erstellt werden, um auch geschossweise Varianten in der Tragstruktur zu ermöglichen. Aus den Grundelementen Decke, Wand und Stütze wird so die erforderliche Konstruktion erzeugt. Der Erschließungskern trägt meist ebenfalls eine tragende und aussteifende Funktion, sollte jedoch erst im nächsten Schritt – dem der Erschließung – erstellt werden, da die Zugehörigkeit der einzelnen Elemente eher von der Konfiguration des Kerns abhängig ist.

In diesem Schritt wird nun erstmals auf die Rasterstruktur zurückgegriffen, um die einzelnen Elemente zu verorten. Jede Position im Gebäudemodell kann über die Rasterpunkte (in Abb. 43: A1 bis G6) und die jeweilige Ebene gewählt werden. Da es sich beim Raster gleichzeitig um das Konstruktionsraster handelt, erlaubt die Eingabe hier auch keine Abweichungen von den Rasterlinien.

Nachdem die Tabelle ausgefüllt wurde, werden in Dynamo die Bauteile und deren Aufbauten bzw. Querschnitte gewählt. Hier sind alle Typen wählbar, die in der Projektdatei in Revit vorhanden sind. Neue Bauteil-Typen müssen zuvor in Revit erstellt werden. Mit Abschluss der Eingaben und Ausführen des Skripts (Anhang 3) werden alle Elemente generiert und in Revit platziert (Abb. 34: 3).

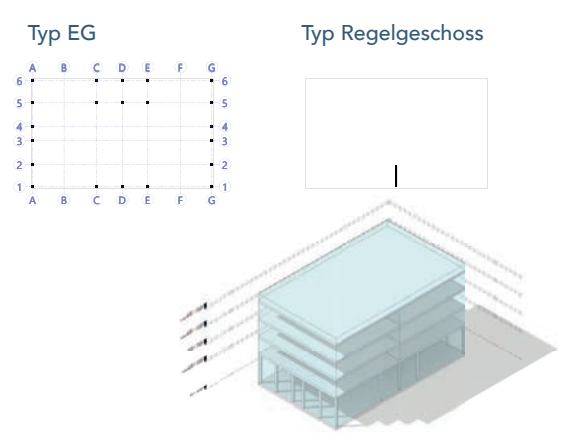
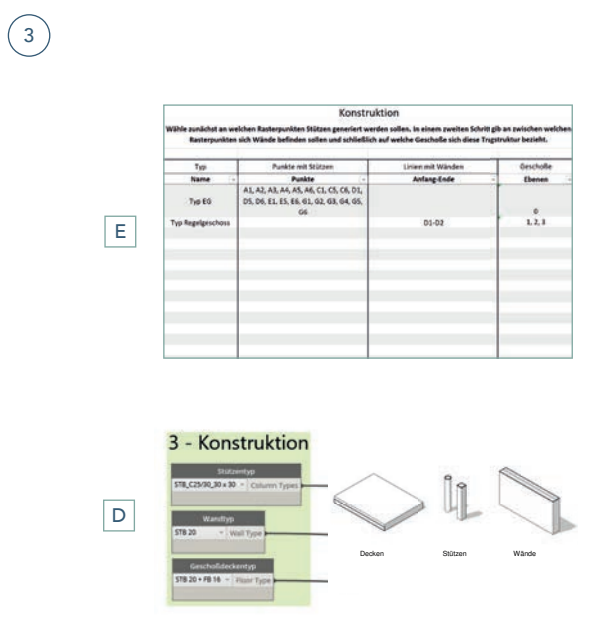
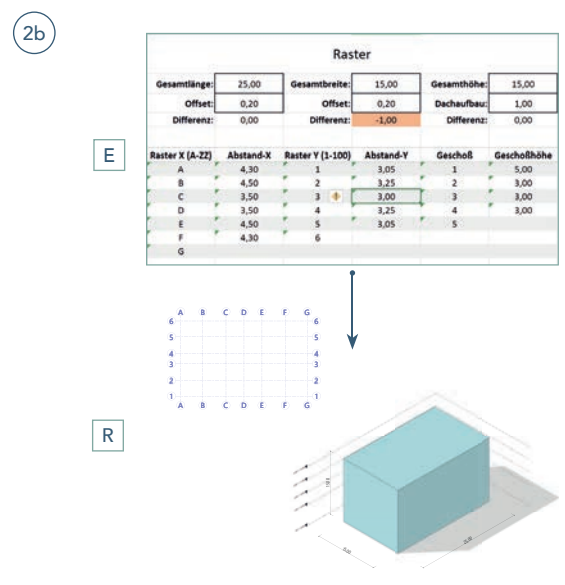
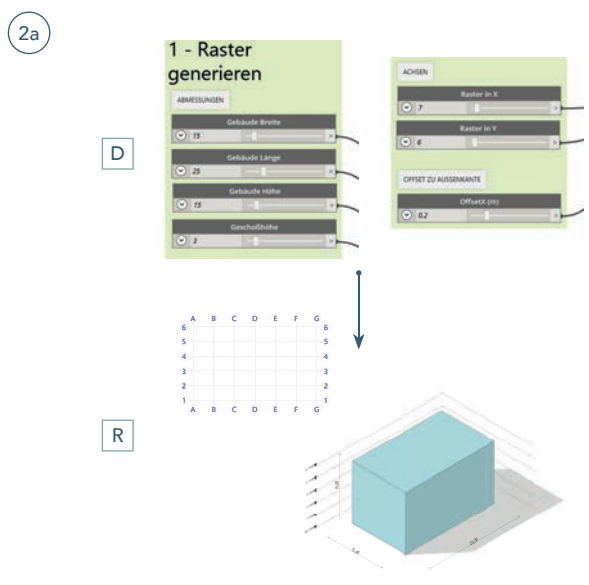
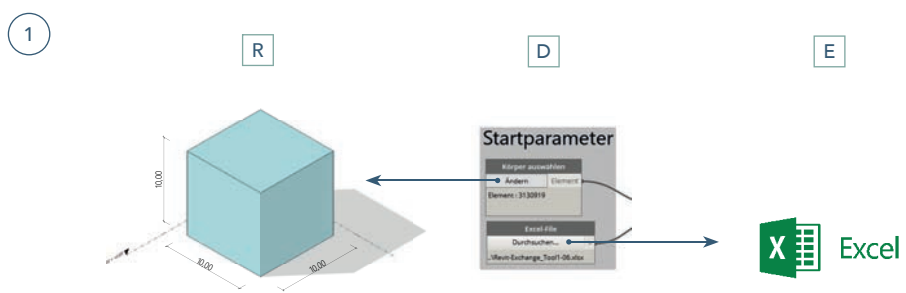


Abb. 34: Schritt 1 bis 3 des Workflows: Arbeitsumgebung, Grundgerüst und Konstruktion

4 Parameter und Elemente:

R Erschließungsmodul zeichnen

E Erschließungsmodul eintragen und Position (Nullpunkt, Ebenen) festlegen

Deckendurchbrüche eintragen

Position

Rasterpunkt

Offset zu Rasterpunkt

Ebenen

Abmessung (Länge, Breite)

4.1.4. Erschließung

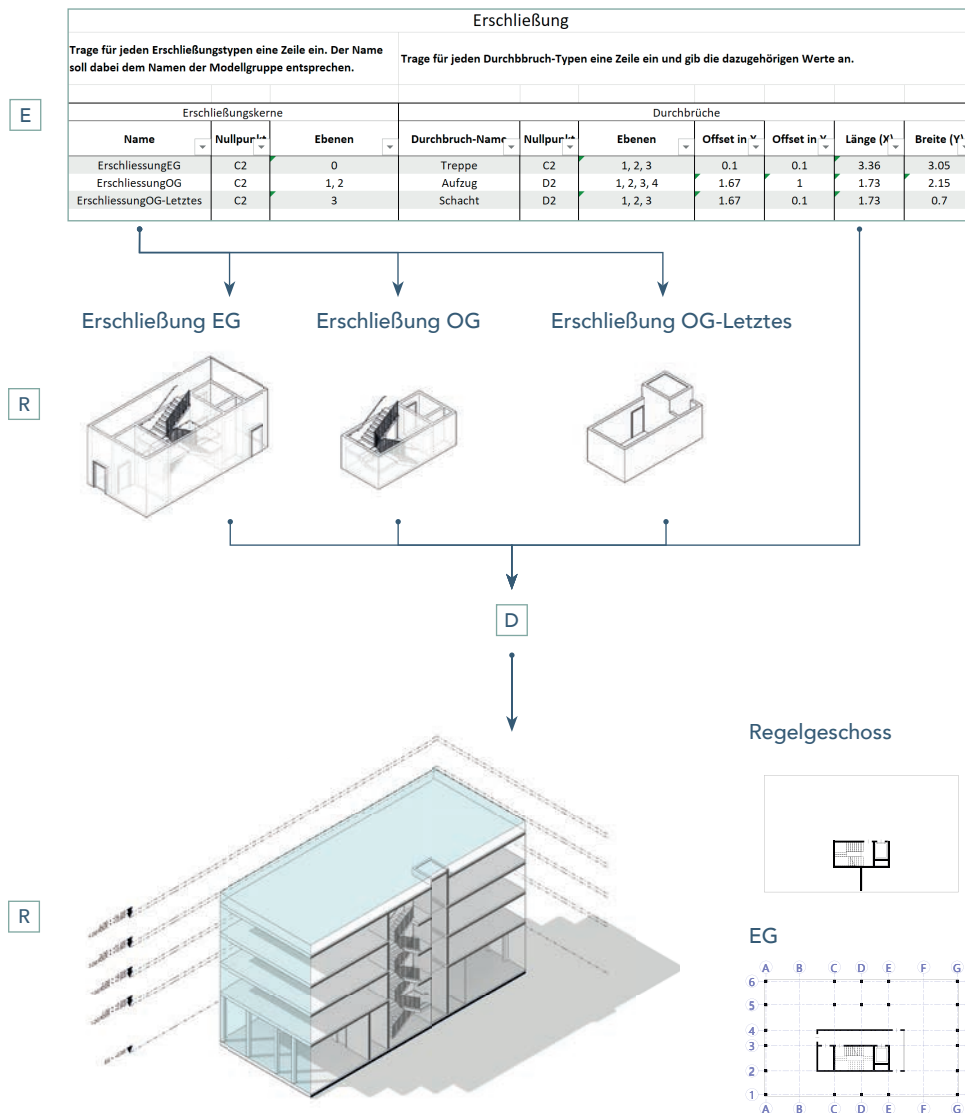
Zunächst sollte die Wahl der Erschließungsform getroffen werden. Abhängig davon gibt es unterschiedliche Varianten in den einzelnen Geschossen. Um möglichst individuelle Erschließungskonzepte generierbar zu machen, werden in einem ersten Schritt die unterschiedlichen Erschließungsmodule in Revit gezeichnet. Dadurch stehen alle Revit-Elemente der Element-Bibliothek zur Verfügung und der Erschließungskern kann in beliebigem Detailierungsgrad modelliert werden. Jeder Typus muss nur einmal erstellt werden und anschließend zu einer Modellgruppe gruppiert werden. Ein Vorteil dieser Gruppen ist die Verbindung aller gruppierten Elemente miteinander. Damit können alle Elemente in der Gruppe auf einmal ausgewählt und transformiert werden. Ein weiterer Vorteil ist die Abhängigkeit der einzelnen Instanzen einer Gruppe zueinander. Wird eine Instanz (z.B. eine Türe) geändert, so ändern sich alle weiteren Instanzen in gleichen Gruppen ebenso. Gerade im Verlauf des Entwurfsprozesses können Anpassungen auf diese Weise optimiert werden. Sind die Gruppen erstellt, sollen diese über eine Tabelle aufgelistet und im Projekt verortet werden. Wiederum dienen das Raster und die Ebenen als Koordinatensystem, um die Erschließungsmodule zu positionieren.

In einem zweiten Schritt müssen die notwendigen Durchbrüche (für Treppen, Aufzug und andere Schächte) eingetragen werden.

Über das Skript in Dynamo (Anhang 4) werden anschließend alle Elemente positioniert und Durchbrüche generiert (Abb. 35). Weiters werden für jeden Erschließungskern auch Raumstempel platziert, um Informationen über die verbrauchte Verkehrsfläche zu erhalten.

4.1.5. Wohnungen

Die Wohnungstypen und der Wohnungsmix werden zunächst über eine Tabellenkalkulation bestimmt. Hier werden die Wohnungsgrößen bzw. die minimale und maximale Quadratmeteranzahl je Wohnungstyp definiert und wie viele Wohnungen (in Prozent oder Anzahl) gewünscht sind. Die Tabelle errechnet über die Gesamtfläche, abzüglich der zuvor erstellten Erschließungsfläche, wieviel Wohnnutzfläche ungefähr zur Verfügung steht. Über den Wohnungsspiegel kann berechnet werden wie viele und welche Wohnungen pro Geschoss notwendig und möglich sind. Mit diesen Informationen als Grundlage können Geschosskonfigurationen zunächst analog getestet werden. Gibt es einen Lösungsansatz, sollen die Grundrisse der Wohnungen als Module digital gezeichnet werden. Ähnlich wie bei der Modellierung der Erschließungsmodule genügt es, jeden Typus einmal zu zeichnen und zu gruppieren. Um den Arbeitsaufwand dafür so gering wie möglich zu halten und dennoch die wichtigsten Parameter zu erfüllen, wird ein vereinfachtes System aus Linien für die Erstellung und Generierung der



Wohnmodule genutzt. Dieses System dient später auch als Anhaltspunkt für die Fassade und die privaten Freiräume, die sich direkt auf die einzelnen Wohnungen beziehen.

Abb. 35: Schritt 4 des Workflows: Erschließung

Wohnungsmodule aus Linien-Grundrissen

Jeder Wohnungsgrundriss besteht aus vielen verschiedenen Elementen, die je nach Konzept ganz unterschiedlich angeordnet werden können. Nach außen hin kann jede Wohnung jedoch auf ein paar wenige Elemente reduziert werden. Zunächst wird jede Wohnung durch Wände begrenzt und zwar zur Erschließungsfläche hin durch eine Trennwand mit Eingangstüre, zu den angrenzenden Wohnungen durch eine Wohnungstrennwand und zum unbebauten Freiraum hin durch eine Fassadenwand mit Öffnungen zur Belichtung und Lüftung (Fenster) oder auch zum Erschließen des privaten Freiraums (Fassadentür). Folglich lassen sich die Grundrisse

5 **Parameter und Elemente:**

- E Wohnungsmix eingeben
- R Wohnungsmodul zeichnen
- E Wohnungsmodul eintragen und Position festlegen
 - Nullpunkt
 - Drehung (optional)
 - Spiegelung (optional)
 - Ebenen
- D Typ für Trennwand wählen
Typ für Wohnungstür wählen

6 **Parameter und Elemente:**

- D Typ für Fassadenwand
Typ für Fenster
Typ für Fenstertür

auf drei unterschiedliche, die Wohnung begrenzende, Wände sowie Fenster, Fenstertüre und eine Eingangstüre reduzieren. Zuerst werden die verschiedenen Umriss der Wohnungen mittels Linien gezeichnet. Dafür wurden in Revit eigene Linienstile angelegt, welche die einzelnen Funktionen der Begrenzung festlegen. Schließlich werden die Linien nach ihren Modulen gruppiert und benannt.

Über die Excel-Tabelle werden die Wohnungsmodul dann ihren Positionen im Modell zugeordnet. Dabei besteht die Möglichkeit bestimmte Module auch in gespiegelter oder gedrehter Form zu platzieren (Abb. 36). Nachdem die Module eingetragen sind, müssen noch die einzelnen Bauteil-Typen ausgewählt werden. Dies geschieht direkt in Dynamo, wo alle in Revit verfügbaren Bauteile zur Auswahl stehen. Fenster und Türen werden dabei in der Mitte der jeweiligen Linie positioniert. Sollen mehrere Fenster entlang einer Fassade generiert werden, muss die Linie nur in einzelne Segmente unterteilt werden. Jeder Abschnitt erhält eine Öffnung.

4.1.6. Fassade

Die Fassade kann ganz unterschiedlich beschaffen sein. Von einer einfachen Außenwand als Lochfassade bis hin zu Fassadenpaneelen, oder komplexen Fassadenelementen ist Vieles möglich. Das Generieren einer Fassade, speziell mit komplexen Formen, kann mittels eigens dafür entworfenem Skript ermöglicht werden. Ziel dieser Arbeit und dieses Skripts ist es jedoch, ein Wohnbau-Modell einer frühen Entwurfsphase zu erzeugen und die zu diesem Zeitpunkt notwendigen Elemente für die Überprüfung der Qualitäten zu generieren. Daher beschränkt sich die Generierung der Fassade bei ALBIS auf die Wand- bzw. Fassadenelemente und Öffnungen und nutzt dafür ausschließlich die Wand- und Fensterfamilien aus Revit.

Die Positionen der Fassadenwände ergeben sich durch die zuvor generierten und positionierten Linien der Wohnungsmodul (Abb. 36). Dabei wird die Wand zentriert zur Linie positioniert und erstreckt sich in der Höhe von der zugehörigen Geschossdecke bis zur Deckenunterkante des nächsten Geschosses.

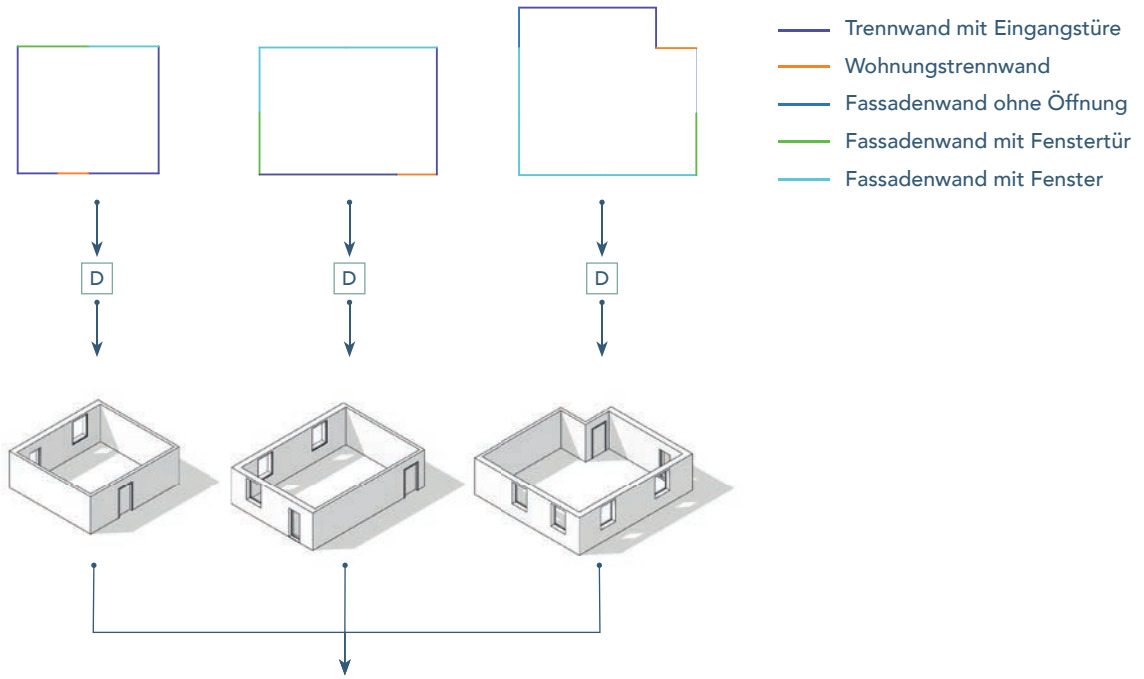
Sollten an anderen Stellen im Modell, unabhängig von diesen Modulen, Fassadenflächen generiert werden müssen, so bietet die Excel-Tabelle die Möglichkeit weitere Linien vom Typ Fassadenwand (mit oder ohne Öffnung) im Modell zu generieren.

Die Öffnungen werden standardmäßig jeweils in der Mitte jedes Wandelements positioniert. Der Fenstertyp sowie die Brüstungshöhe können zuvor über Parameter gewählt werden.

In Anhang 5 ist das Skript zur Generierung der Wohnungen und der Fassade ersichtlich.

5 & 6

R



E

Wohnungen				
Wohnmodule				
Name	Nullpunkt	Drehung	Spiegeln	Ebenen
W_01	C4	0	0	1, 2, 3
W_02	A4	0	0	1, 2, 3
W_02	G4	0	Y	1, 2, 3
W_03	A1	0	0	1, 2, 3
W_03	G1	0	Y	1, 2, 3

Fassade		
Wähle zwischen welchen Rasterpunkten sich weitere Fassadenwände befinden sollen und schließlich auf welche Geschosse sich diese Elemente beziehen.		
Typ	Linien mit Wänden	Geschoße
Name	Anfang-Ende	Ebenen
Fassade1	A3-A4, G3-G4	1, 2, 3

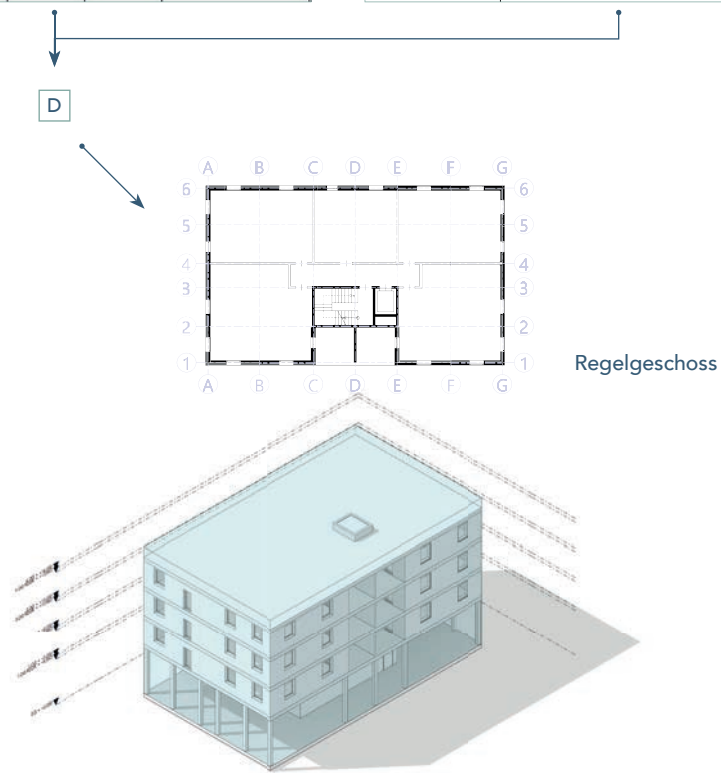


Abb. 36: Schritt 5 und 6 des Workflows: Wohnungen und Fassade

7

Parameter und Elemente:

E

Dimensionen und Varianten von:

Balkon
Loggia
Terrasse

D

Deckentyp Balkon
Geländertyp Balkon
Geländertyp Loggia
Bodenbelag Terrasse

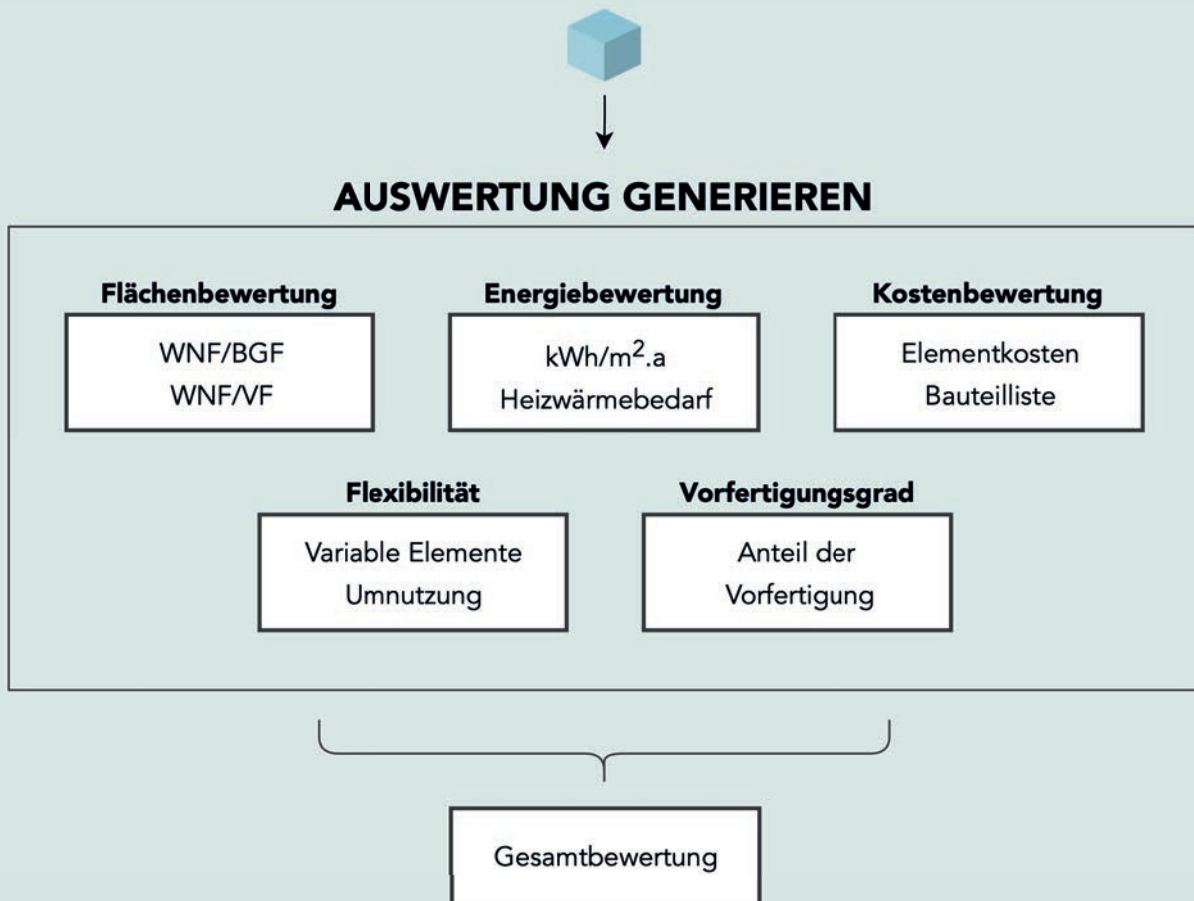
4.1.7. Freiräume

Abschließend wird die Fassade noch um private Freiräume ergänzt. Jeder Wohnung wird dabei ein eigener Freiraum zugeordnet. Beim Erstellen der Wohnungsgrundrisse wurde bereits die Position der Fenstertüren als Zugänge für die Freiräume definiert. Durch die Lage der Öffnung weist das Skript dieser einen Freiraum zu. Dabei wird ein Balkon generiert, wenn die Öffnung direkt an der Außenhülle liegt, eine Terrasse, wenn sich die Wohnung im Erdgeschoss befindet und eine Loggia wenn sich die Fenstertür innerhalb des Volumens befindet. Als Schwellenwert, wann ALBIS zwischen Balkon und Loggia unterscheidet, ist hier 50 cm Abstand zur Körperwand angegeben, um eine Toleranz für die Stärke der Fassadenwand und die Einbautiefe der Fenstertüren zu bieten.

Für die Erstellung der Freiräume wird zunächst die Dimension der Freiräume benötigt, die über die Tabelle angegeben werden kann. Dabei kann entweder für alle Wohnungen die gleiche Grundfläche angenommen oder auch unterschiedliche Größen eingetragen werden. In Dynamo wird schließlich noch der Deckentyp sowie der Geländertyp ausgewählt (Abb. 37).

Das Dynamo-Skript zur Generierung des Freiraums ist in Anhang 6 abgebildet.

Abb. 38: Schematische Darstellung des Workflows von Schritt 2 mit den erforderlichen Parametern zur Auswertung des parametrischen BIM-Modells



4.2. Schritt Zwei: Auswertung des algorithmischen Modells

Nachdem das 3D-Modell im ersten Schritt von ALBIS generiert wurde, liegen die erforderlichen Daten zur Auswertung bereits vor. Die Informationen werden im zweiten Schritt aus dem BIM-Modell ausgelesen und wiederum mittels Skript in Dynamo (Anhang 7) verarbeitet. Die Bewertung nach einzelnen Kriterien erfolgt in Excel, wobei sich eine manuelle Eingabe auf einzelne Parameter, wie die Gewichtung der Kriterien, beschränkt (Abb. 38).

4.2.1. Flächenbewertung

Bei der Erstellung des BIM-Modells wurde je Erschließungsfläche ein Raumstempel mit der Bezeichnung „Erschließung“ und dem Flächentyp „VF“ angelegt. Genauso wurde auch für jede Wohnung ein Raumstempel mit dem Namen „Wohnen“ und „WNF“ als Typ erzeugt. Weitere Flächen, wie die der Technikräume, können ebenfalls manuell angelegt werden, um in die Auswertung einzufließen. Insgesamt sollen so alle Nettoflächen erfasst werden. Durch den Projektkörper, der zuvor als Grundlage für das Volumen und das Gerüst aus Ebenen und Raster diente, errechnet sich die geschossweise Bruttogrundfläche in einer eigenen Tabelle in Revit. Beide Tabellen werden automatisiert über Dynamo (Anhang 7) in Excel importiert und berechnet. Die anfangs eingegebenen Werte (Abb. 39: E1) für die einzelnen Größentypen (Typ A bis Typ E) der Wohnungen dienen beim Import der tatsächlichen Flächen aus dem Modell zur Überprüfung der Typenverteilung (E3) und ermöglichen einen IST-SOLL-Vergleich, ob der gewünschte Wohnungsmix erfüllt wurde. Durch die Zuordnung der Flächentypen wird aus der Summe von Wohnnutzfläche, Verkehrsfläche, Technikfläche und Bruttogrundfläche auch die Konstruktionsfläche kalkuliert. Für die Flächenbewertung werden schließlich zwei Verhältnisse berechnet. Das Verhältnis zwischen WNF und BGF sowie das Verhältnis zwischen WNF und VF wird ermittelt und über ein 10-Punkte-System gewertet. Für die gesamte Flächenbewertung wird der Mittelwert der beiden Ergebnisse genutzt (E4).

Die Bewertung über diese Größenverhältnisse stellt ein mögliches Verfahren dar. Je nach Präferenz und Projektziel könnten auch andere Werte in die Gesamtbewertung einbezogen werden. Der Anteil der Konstruktionsgrundfläche beispielsweise bildet einen wichtigen Kostenfaktor ab und könnte alternativ mit einbezogen werden.

A Parameter und Elemente:

- R** Flächenlisten
Raumlisten
- E** Wohnungsmix
WNF, VF, TF, BGF
Flächenverhältnisse

A

E1

Wohnungen					m² Verfügbar gesamt: 2000						
Wohnmodule					Typen	m² min	m² max	% -Anteil	Stück-Anteil	m²-Anteil	
Name	Nullpunkt	Drehung	Spiegeln	Ebenen						min	max
W_01	C4	0	0	1, 2, 3	A	35	45	20	280	9.800,00	12.600,00
W_02	A4	0	0	1, 2, 3	B	45	60	40	560	25.200,00	33.600,00
W_02	G4	0	Y	1, 2, 3	C	60	75	30	420	25.200,00	31.500,00
W_03	A1	0	0	1, 2, 3	D	75	90	10	140	10.500,00	12.600,00
W_03	G1	0	Y	1, 2, 3	E	90	120	0	0	-	-
					Anteil Smart:		30%				
					Typen	m² min	m² max	% -Anteil	Stück-Anteil	m²-Anteil	
										min	max
					Smart B		55	20,00	120	-	6.600,00
					Smart C		70	40,00	240	-	16.800,00
					Smart D		85	20,00	120	-	10.200,00
					Smart E		100	0,00	0	-	-
									0	-	-

D



R

<A_Räume>				
A	B	C	D	E
Nummer	Ebene	Name	Flächentyp ÖN B180	Fläche
T001	EG	Haustechnik	TF	6,1
T002	EG	Technik	TF	1,21
E001	EG	Erschliessung	VF	14,85
E002	1.OG	Erschliessung	VF	14,85
E003	2.OG	Erschliessung	VF	14,85
E004	3.OG	Erschliessung	VF	14,85
E005	EG	EG-Überdacht	VF	305,2
E006	EG	Erschliessung	VF	25,9
E007	EG	Erschliessung	VF	3,72
E008	1.OG	Erschliessung	VF	19,44
E009	2.OG	Erschliessung	VF	19,44
E010	3.OG	Erschliessung	VF	19,44
W001	1.OG	Wohnen	WNF	51
W002	2.OG	Wohnen	WNF	51
W003	3.OG	Wohnen	WNF	51
W004	1.OG	Wohnen	WNF	51

<A_BGF_BRI>				
A	B	C	D	E
Bodenfläche	Anzahl	Ebene	Geschossvolumen	Geschosshöhe
375	1	EG	1875	5
375	1	1.OG	1125	3
375	1	2.OG	1125	3
375	1	3.OG	1500	4

R

D

E

E2

Nr.	Ebene	Name	Typ	Fläche (m²)
T001	EG	Haustechnik	TF	6,1
T002	EG	Technik	TF	1,21
E001	EG	Erschliessung	VF	14,85
E002	1.OG	Erschliessung	VF	14,85
E003	2.OG	Erschliessung	VF	14,85
E004	3.OG	Erschliessung	VF	14,85
E005	EG	EG-Überdacht	VF	305,2
E006	EG	Erschliessung	VF	25,9
E007	EG	Erschliessung	VF	3,72
E008	1.OG	Erschliessung	VF	19,44
E009	2.OG	Erschliessung	VF	19,44
E010	3.OG	Erschliessung	VF	19,44
W001	1.OG	Wohnen	WNF	51
W002	2.OG	Wohnen	WNF	51
W003	3.OG	Wohnen	WNF	51
W004	1.OG	Wohnen	WNF	51

BGF	Anzahl	Ebene	BRI	Geschosshöhe
375	1	EG	1875	5
375	1	1.OG	1125	3
375	1	2.OG	1125	3
375	1	3.OG	1500	4

Flächen											
Nummer	Name	Ebene	Flächentyp	m2	Modultyp	Top-Typ	WNF				
							Typen	Stück	Stück %	Fläche	Fläche %
T001	EG	Hauptechnik	TF	6,10		-					
T002	EG	Technik	TF	1,21		-	A	3	20%	122,40	15%
E001	EG	Erschliessung	VF	14,85		-	B	6	40%	306,00	38%
E002	1.OG	Erschliessung	VF	14,85		-	C	6	40%	382,90	47%
E003	2.OG	Erschliessung	VF	14,85		-	D	0	0%	-	0%
E004	3.OG	Erschliessung	VF	14,85		-	E	0	0%	-	0%
E005	EG	EG-Überdacht	VF	305,20		-	WNF Gesamt:		811,30		
E006	EG	Erschliessung	VF	25,90		-					
E007	EG	Erschliessung	VF	3,72		-					
E008	1.OG	Erschliessung	VF	19,44		-	VF	452,54		TF	7,31
E009	2.OG	Erschliessung	VF	19,44		-					
E010	3.OG	Erschliessung	VF	19,44		-					
W001	1.OG	Wohnen	WNF	51,00		B					
W002	2.OG	Wohnen	WNF	51,00		B					
W003	3.OG	Wohnen	WNF	51,00		B					
W004	1.OG	Wohnen	WNF	51,00		B					
W005	2.OG	Wohnen	WNF	51,00		B					
W006	3.OG	Wohnen	WNF	51,00		B					

E3



E4

Auswertung Flächen

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

BGF (m ²)	KG(m ²)	TF + VF (m ²)	Wohneinheiten		Freiraum	
			WNF = NF+SF (m ²)	Anzahl	Fläche (m ²)	Anzahl
1.500,00	228,85	459,85	811,30	15	142,58	15
100,00%	15,26%	30,66%	54,09%			

Verhältnis	Wert	Punkte	Punkte Gesamt
WNF/BGF	0,54	6	
VF/WNF	0,57	5	

BRI (m ³)
5.625,00

Bewertung WNF/BGF	
0 - 0,09	1
0,1 - 0,19	2
0,2 - 0,29	3
0,3 - 0,39	4
0,4 - 0,49	5
0,5 - 0,59	6
0,6 - 0,69	7
0,7 - 0,79	8
0,8 - 0,89	9
0,9 - 1	10

Bewertung VF/WNF	
0 - 0,09	10
0,1 - 0,19	9
0,2 - 0,29	8
0,3 - 0,39	7
0,4 - 0,49	6
0,5 - 0,59	5
0,6 - 0,69	4
0,7 - 0,79	3
0,8 - 0,89	2
0,9 - 1	1

Abb. 39: Flächenbewertung durch Flächenlisten und Kalkulation der Verhältnisse

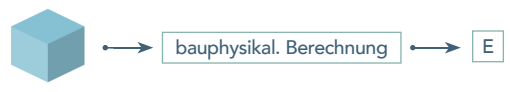
E Parameter und Elemente:

- R** Gebäudedaten (Grundflächen, Hüllfläche, Öffnungen, Aufbauten)
- E** Heizwärmebedarf
Energieklassen

4.2.2. Energiebewertung

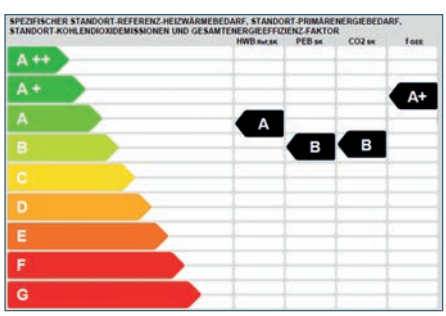
Um die Bewertung der Energieeffizienz zu ermöglichen wird der berechnete Heizwärmebedarf (HWB) genutzt. Wie in Kapitel 3.3.2. bereits erwähnt, bieten die verfügbaren Programme zur Berechnung des HWB im Rahmen eines Energieausweises derzeit keine Schnittstelle zu Revit an. Aus dem generierten 3D-Modell können jedoch die benötigten Kennwerte und Elemente ausgelesen werden und manuell in die Software eingetragen werden. Das Ergebnis der extern erfolgten Berechnung soll dann in Excel in der Rubrik Energiebewertung eingetragen werden (Abb. 40). Die Energieklasse nach OIB wird zusätzlich ausgegeben und die damit erreichten Punkte errechnet.

Abb. 40: Auswertung des Heizwärmebedarfs mittels extern erstelltem Energieausweis (exemplarisch erstellt)



GEBÄUDEKENNDATEN					
Brutto-Grundfläche	1.669,82 m ²	charakteristische Länge	2,33 m	mittlerer U-Wert	0,216 W/m ² K
Bezugsfläche	1.335,86 m ²	Klimaregion	N	LEK-τ-Wert	15,00
Brutto-Volumen	4.671,16 m ³	Heiztage	216 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung,
Gebäude-Hüllfläche	2.007,81 m ²	Heizgradtage	3464 Kd	Bauweise	mittelschwere,
Kompaktheit (A/V)	0,43 1/m	Norm-Außen-temperatur	-11,3 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima)		Gesamtenergieausweis	
Referenz-Heizwärmebedarf	k.A.	HWB _{ref,sk}	21,08 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf		HWB _{sk}	21,13 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	k.A.	E/LEB _{sk}	73,03 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	k.A.	f _{EE}	0,675
Erneuerbarer Anteil	k.A.		



Auswertung Energie

Durch Eingabe des Heizwärmebedarfs errechnen sich die Energieklasse und die erreichten Punkte

HWB (kWh/m ² .a)	Energieklasse	Punkte
21,13	A	7

Bewertung HWB		
HWB	Kl.	Punkte
0 - 10	A++	10
10 - 15	A+	9
15 - 20	A	8
20 - 25	A	7
25 - 30	B	6
30 - 35	B	5
35 - 40	B	4
40 - 45	B	3
45 - 50	B	2
50 - 55	C	1
55 - 100	C	0
100 - 150	D	0
150 - 200	E	0
200 - 250	F	0
250 <	G	0

4.2.3. Kostenbewertung

Die Kostenbewertung erfolgt durch die Eingabe der Einheitspreise (EHP) zu den eingesetzten Elementen aus dem BIM-Modell. Dazu werden Bauteillisten, die in Revit erstellt wurden, automatisiert exportiert und in Excel aufbereitet. Gegliedert nach Bauteilfamilie werden die einzelnen Typen und ihre Mengen ausgegeben (Abb. 41). In ALBIS werden die Element-Familien Wand, Decke und Stütze in die Auswertung einbezogen, da diese den Großteil des generierten Modells ausmachen. Eine Ergänzung um weitere Element-Familien könnte aber vorgenommen werden. Jedem Typ wird in der ausgegebenen Liste ein Elementpreis beigefügt. Zur Bewertung des angegebenen Preises werden Referenzwerte ähnlicher Projekte benötigt, die insgesamt einen Minimal-, einen Maximal- sowie einen Mittelwert je Element zur Verfügung stellen. Diese Werte werden in diesem Rahmenwerk aus vergleichbaren Objekten im BKI 2019 entnommen, können aber genauso von anderen Quellen – beispielsweise aus unternehmensinternen Daten – bezogen werden.

C Parameter und Elemente:

R Elementlisten

E Referenzkosten
Elementkosten

Auswertung Kosten

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

Bauteil	Kosten min.	Kosten max.	Kosten	Bewertung
Wände gesamt	€ 365.505,58	€ 489.213,53	€ 395.070,56	7,61
Decken gesamt	€ 432.583,41	€ 486.183,60	€ 438.370,17	8,92
Stützen gesamt	€ 818,04	€ 962,40	€ 890,22	5,00
SUMME	€ 798.907,03	€ 976.359,53	€ 834.330,95	8,00

Typ	Revit-Daten				Vorfertigung
	Anzahl	Fläche	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt
AW_NTr_10cm	12	206	20,57	90	18,51
AW_NTr_303_HOL	18	246	74,46	90	67,01
AW_NTr_400_HOL	248	937	374,72	90	337,25
FA_NTr_3L_GLA	13	195	0,00	100	-
STB 25	86	866	216,40	80	173,12
TW_NTr_220 GK	36	1.009	221,13	70	154,79
					-
					-

Kostengruppe	Kosten				Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
	min	Ø	max			
332.51.01	€ 163	€ 269	€ 374	€ 268,50	€ 55.217,03	
332.34.01	€ 140	€ 152	€ 163	€ 151,50	€ 37.228,10	
332.34.02	€ 145	€ 159	€ 173	€ 159,00	€ 148.949,61	
-		-			€ -	
341.24.01	€ 82	€ 93	€ 103	€ 92,50	€ 80.067,08	
342.62.02	€ 90	€ 105	€ 120	€ 105,00	€ 105.897,75	
		-			€ -	

Abb. 41: Auswertung der Kosten über Bauteillisten und Element-Preise

F Parameter und Elemente:

- E Dimensionierungskriterien**
- Kriterien der Umnutzung

4.2.4. Flexibilität

Die Bewertung der Flexibilität erfolgt analog zur Bewertung des TQB-Tools. Da diese Fragen vorwiegend durch Entwurfsentscheidungen beantwortet werden, die nicht aus dem Modell in Form von Messwerten ablesbar sind, erfolgt die Bewertung manuell. Die Punkteverteilung orientiert sich ebenfalls am TQB-Tool. Die Gesamtpunkte zur Flexibilität werden aus dem Verhältnis zur maximalen Punktezahl auf die 10-Punkte-Skala von ALBIS umgewandelt (Abb. 42).

Auswertung Flexibilität

Angaben zur Flexibilität. Untenstehende Anforderungen mit Ja oder Nein beantworten.

Dimensionierung	Ja/Nein	Punkte
Die statische Dimensionierung der Grundkonstruktion erlaubt Nutzungsänderungen	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	10
Die Raumhöhe ist durchgehend mindestens 2,80m auf 15% der Nutzfläche	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	5
Nicht tragende Elemente sind leicht austauschbar	<input type="checkbox"/> Nein	10
Erweiterbarkeit/Entkernbarkeit		
Nutzungseinheiten sind bzgl. der Grundrissgestaltung zusammenlegbar/trennbar	<input type="checkbox"/> Nein	5
Versorgungsschächte liegen an als fix betrachteten Wandbauteilen & besitzen Reserven für eine Erweiterung	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	5
Erreichte Punkte	20	von 35
Punkte Flexibilität:	5,71	

Abb. 42: Auswertung der Flexibilität mittels Kriterien des TQB-Katalogs

Auswertung Vorfertigung

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

Bauteiltyp	Volumen	Anteil vorgefertigt	Anteil in %
Decken	9.660,34	5.797,20	60%
Stützen	8,82	7,94	90%
Wände	41.893,97	14.266,23	34%
Gesamt	51.563,13	20.071,36	39%
Punkte:			3,89

Abb. 43: Bewertung der Vorfertigung anhand des Vorfertigungsgrads und des Volumens der Elemente

4.2.5. Vorfertigungsgrad

Zur Ermittlung des gesamten Vorfertigungsgrads werden zunächst alle Elemente bzw. alle Elementtypen ihren jeweiligen Vorfertigungsgrad erhalten. Um den Vorfertigungsgrad auch bei Halbfertigteilen, oder bei im Modell als zusammengesetzte Bauteile modellierten Elementen sinnvoll definieren zu können, erfolgt die Angabe in Prozentpunkten (0–100%). Diese Informationen werden über den gleichen Teilschritt, der für die Bauteillisten zur Kostenbewertung genutzt wurde, von Revit zu Excel übertragen und, nach Bauteilfamilie gegliedert, ausgegeben. Zur Bewertung werden die Prozentangaben jedes einzelnen Bauteils nach dem Volumen des jeweiligen Elements anteilig summiert und ergeben einen Gesamtwert des Vorfertigungsgrads. Dieser Prozentbetrag in Punkte umgewandelt ergibt die Bewertungspunkte der Vorfertigung (Abb. 43).

P Parameter und Elemente:

R Elementlisten mit Vorfertigungsgrad (%)

E Volumenabhängige Vorfertigungsgrade

4.2.6. Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung fasst alle Einzelbewertungen zu einer Gesamtpunktezahl zusammen. Dabei werden alle Teilwertungen aus den jeweiligen Tabellen übernommen und in einer zusammenfassenden Tabelle ausgegeben. Wichtiger Bestandteil der Gesamtbewertung ist die Gewichtung der einzelnen Faktoren (Abb. 44). Dadurch hat jeder Anwender von ALBIS die Möglichkeit nach Präferenz und Projektzielen unterschiedlichen Bereichen der Auswertung eine höhere Priorität zu geben oder gewisse Bewertungsfaktoren gänzlich auszuschneiden.

Σ Parameter und Elemente:

E Gewichtungsfaktoren der Teilbewertungen

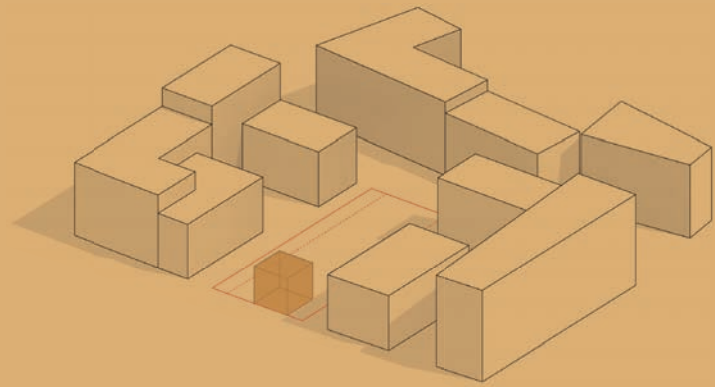
Summe aller Bewertungskriterien

Mit diesem letzten Schritt der Bewertung ist der Ablauf des Skripts abgeschlossen und die damit erstellte Entwurfsvariante zu einem Abschluss gekommen. Dieser Prozess ist als iterativ zu verstehen und kann, aufbauend auf den Erkenntnissen der Auswertung, mit geänderten Parametern wiederholt werden.

Auswertung Gesamt				
Gib die Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien an. Die Punkte werden aus den einzelnen Bewertungsverfahren der jeweiligen Kriterien übertragen.				
Kriterien	Gewichtung (%)	Punkte	Punkte gewichtet	Gesamt
Flächen	30%	5,50	1,65	5,5 /10
Energie	5%	7,00	0,35	
Kosten	10%	8,00	0,80	
Flexibilität	30%	5,71	1,71	
Vorfertigung	25%	3,89	0,97	
	100%			

Abb. 44: Gesamtauswertung aller Kriterien

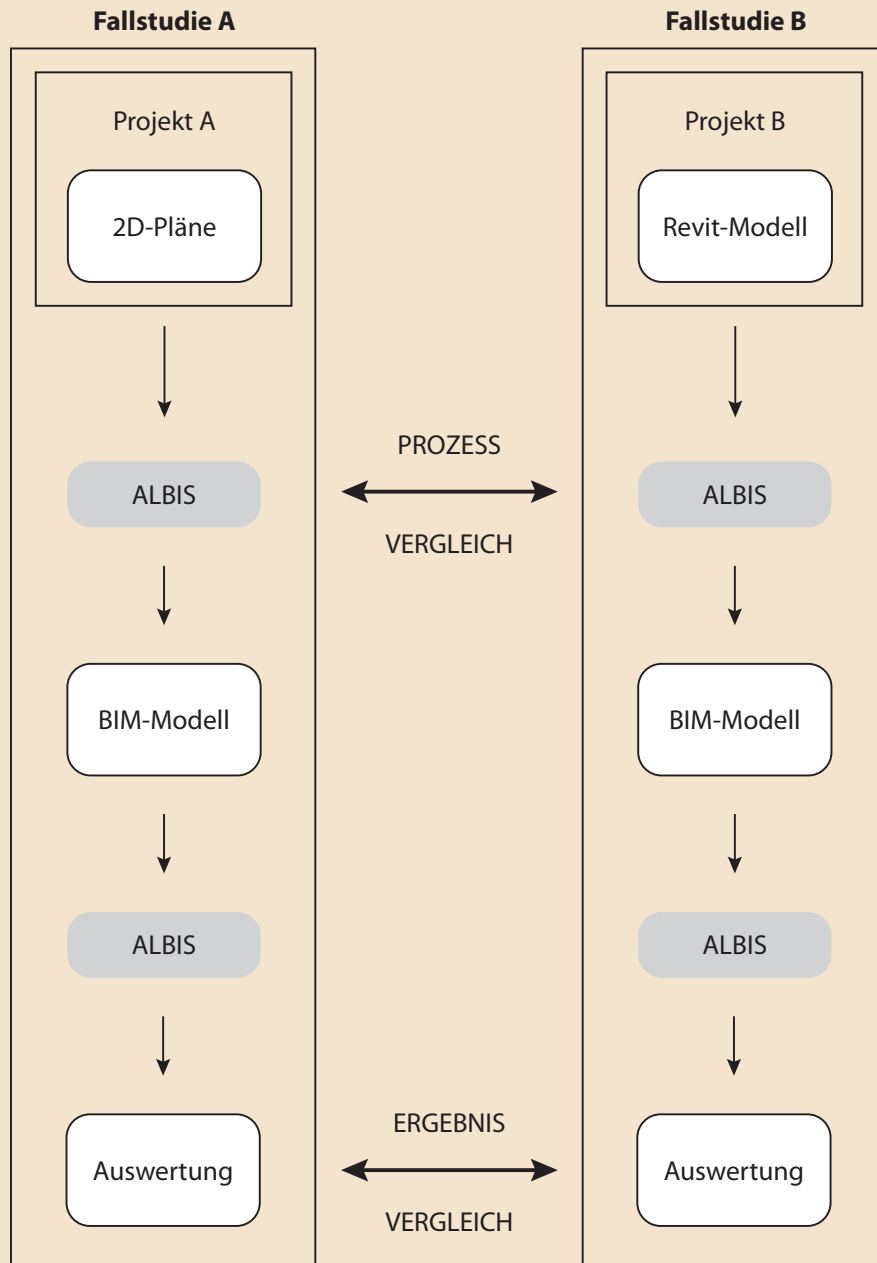
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



K A P I T E L F Ü N F

VERGLEICHENDE FALLSTUDIE

Abb. 45: Schematische Darstellung der vergleichenden Fallstudie



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

In diesem Kapitel wird das zuvor erstellte Skript an zwei Projekten eingesetzt. Diese wurden für denselben Bauplatz und mit einer ähnlichen Bauaufgabe (Raumprogramm & Nutzungskategorie) entworfen. Primäres Ziel ist die Überprüfung der Durchführbarkeit von ALBIS. Es wird folgend der Arbeitsprozess, der bei den beiden Fallstudien durchlaufen wird, dokumentiert und die Ergebnisse der beiden Prozesse werden gegenübergestellt. Außerdem werden die Ergebnisse der Projekte verglichen, um die Bewertung von ALBIS zu evaluieren. Schließlich erlauben die Erfahrungen ein Fazit über den Einsatz von ALBIS im Entwurfsprozess (Abb. 45).

5.1. Evaluierungsgrundlagen

Die Wahl der Projekte, die nachfolgend beschrieben werden, lässt sich aus mehreren Gründen erklären. Im Rahmen dieser Arbeit ist ALBIS für eine orthogonal strukturierte Entwurfsaufgabe konzipiert worden und baut auf einer quaderförmigen Grundkubatur auf. Eine Erweiterung des Werkzeugs, um auch für andere Typologien zu funktionieren, ist möglich und könnte in einem nächsten Schritt anhand sogenannter Figur-Grammatiken (engl.: shape grammars) erarbeitet werden. Für eine erste Entwicklung ist die Quaderform naheliegend und daher sollte auch das Testobjekt mit dieser Form annähernd übereinstimmen. Das Kerngebiet dieses Rahmenwerks ist die Entwicklung eines Planungstools. Deshalb wird in diesem Kapitel kein eigener Entwurf generiert zu dem zusätzliche Entwurfsentscheidungen erläutert werden müssten. Durch unabhängig vom Rahmenwerk entworfene Projekte kann dessen Anwendbarkeit besser überprüft werden. Im Zuge des erwähnten Forschungsprojekts „Wohnen 4.0 – Digitale Plattform für leistbares Wohnen“ wurde eine passende Bauaufgabe bereits im Rahmen einer studentischen Entwurfsübung thematisiert. Dabei sollte auf einem Grundstück mit rechteckiger Grundfläche ein mehrgeschossiger Wohnbau konzipiert werden. Ergänzend lag der Schwerpunkt dieser Aufgabe beim Konzipieren eines modular aufgebauten, oder mit Fertigteilen realisierbaren, Wohnbaus. Im Entwurfsprozess studierten die TeilnehmerInnen bereits die Möglichkeiten einer algorithmischen Erstellung ihres Entwurfes und untersuchten mögliche Entwurfsparameter. Da auf diesem Grundstück bereits ein Wohngebäude realisiert wurde, wird zusätzlich die Möglichkeit genutzt auch den realisierten Entwurf in den Test einzubeziehen. Der Unterschied der Entwurfsstadien und Schwerpunkte in der Planung – vom studentischen Projekt liegt ein Entwurf vor und zum realisierten Projekt existieren Ausführungspläne – wird Differenzen in den Ergebnissen der algorithmischen Generierung sichtbar machen. Im Rahmen der Fallstudie wird der realisierte Entwurf mit „Projekt A“ betitelt. Als vergleichendes Fallbeispiel wurde weiters ein studentischer Entwurf ausgewählt, der folgend als „Projekt B“ bezeichnet wird.

5.1.1. Aufbau der Fallstudie

Nach einer allgemeinen Erläuterung der Bauaufgabe wird jedes Projekt mittels ALBIS generiert. Dabei dienen die verfügbaren Unterlagen aus den beiden Projekten als Grundlage. Diese werden eingangs analysiert und auf deren Parameter überprüft. Es wird ermittelt, welche Teile des Gebäudes algorithmisch generiert werden können und in welchen Bereichen eine manuelle Modellierung notwendig ist. Nachdem jedes Modell vollständig digital vorhanden ist, wird der zweite Schritt von ALBIS durchlaufen und die generierten Modelle werden bewertet. In jedem Schritt werden die Teilschritte dokumentiert und Besonderheiten aufgezeigt. Dabei wird nicht jeder einzelne Arbeitsschritt des Skripts erneut beschrieben, da diese im vorherigen Kapitel bereits erklärt wurden. Wichtige Informationen über die Durchführbarkeit der Fallstudien mit ALBIS liegen im Fokus. Zusätzlich wurde bei der Erarbeitung der Modelle für jeden Schritt der damit verbundene Zeitaufwand ermittelt. Dabei wurde die Zeit von der ersten Eingabe eines Parameters bis zum Abschluss des jeweiligen Teilschritts gemessen. Die notwendigen Analysen der Vorlagen wurden dabei nicht einbezogen. Diese würden bei der Anwendung von ALBIS im Entwurfsprozess ohnehin durch eine Konzeptfindung und Ermittlung der darin enthaltenen Parameterwerte ersetzt werden.

Schließlich findet ein Vergleich der Modelle statt. Dabei wird das Modell von Projekt A dem Modell von Projekt B gegenübergestellt. Die Ergebnisse der beiden generierten Modelle geben Aufschluss über die Qualitäten und Defizite der Projekte. Aufgrund der gleichen Bauaufgabe und desselben Bauplatzes ähnelt die Gegenüberstellung einem Variantenvergleich. Über die Auswertung mit ALBIS sollen diese Unterschiede und mögliche Potentiale sichtbar werden. Der Vergleich der generierten Modelle ermöglicht die Überprüfung der Durchführbarkeit von ALBIS. Zusätzlich gibt der direkte Vergleich von Modellen einer gleichen Bauaufgabe, jedoch mit unterschiedlichem Planungsfortschritt, Auskunft über Informationsgehalt und Modellqualität. Abschließend wird ein Fazit aus den Ergebnissen und dem Einsatz von ALBIS im Entwurfsprozess gezogen.

5.1.2. Bauaufgabe

Der Bauplatz befindet sich in einer Zone mit gemischter Nutzung bestehend aus Wohn- und Bürobauten. Der annähernd rechteckige Bauplatz flankiert an der kürzeren südlichen Grenze einen schmalen Park und an der gegenüberliegenden nördlichen Grundstücksgrenze eine Fußgängerzone. Entlang der beiden längeren Seiten stehen Nachbargebäude, getrennt durch einen Fußweg, gegenüber (Abb. 46). Das Gelände ist über den ganzen Bauplatz nahezu eben. Der Bauplatz selbst ist ungefähr 62m lang und 27m breit. An beiden Längsseiten gilt die Einhaltung einer Abstandsfläche von je 4,5m, wodurch sich eine effektive Breite zur Baufluchtlinie von ca. 18m ergibt.

Nach dem Bebauungsplan wird eine geschlossene Bauweise gefordert und das Gebäude soll entlang der Baufluchtlinie errichtet werden. Die Gebäudehöhe muss mindestens 9m und höchstens 16m betragen. Die Flächenwidmung sieht für dieses Grundstück weiters einen Wohnbau vor, der durch gewerbliche Nutzung ergänzt wird.

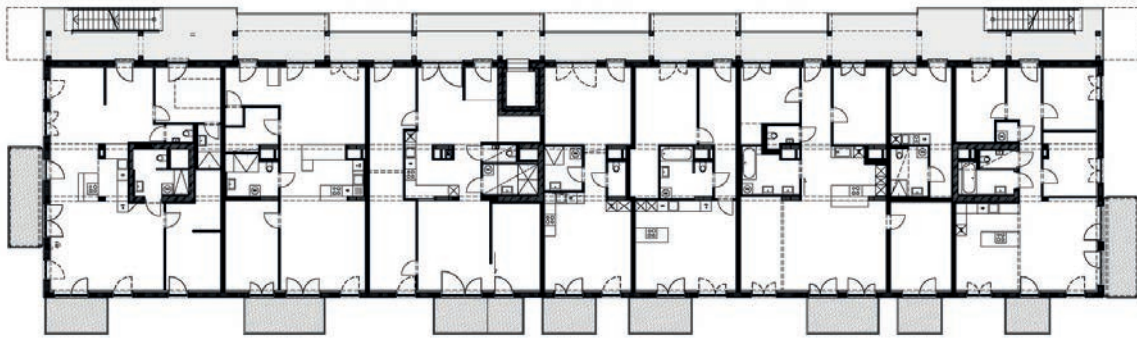
Auf dem Bauplatz wurde ein mehrgeschossiger Bau realisiert. Es entstand ein sechsgeschossiger Wohnbau mit insgesamt 34 Wohneinheiten, Gemeinschaftsräumen und vier Räumen zur gewerblichen Nutzung im Erdgeschoss. Dieses im Rahmen der Fallstudie als „Projekt A“ bezeichnete Bauprojekt soll als erstes in der Fallstudie A mit ALBIS generiert und ausgewertet werden. Projekt B wurde ebenfalls für diesen Bauplatz entworfen und sollte dieselben baurechtlichen Rahmenbedingungen erfüllen. In der darauffolgenden Fallstudie B wird dieser Entwurf durch ALBIS ebenfalls generiert und bewertet.

Abb. 46: Bauplatz und Umgebung

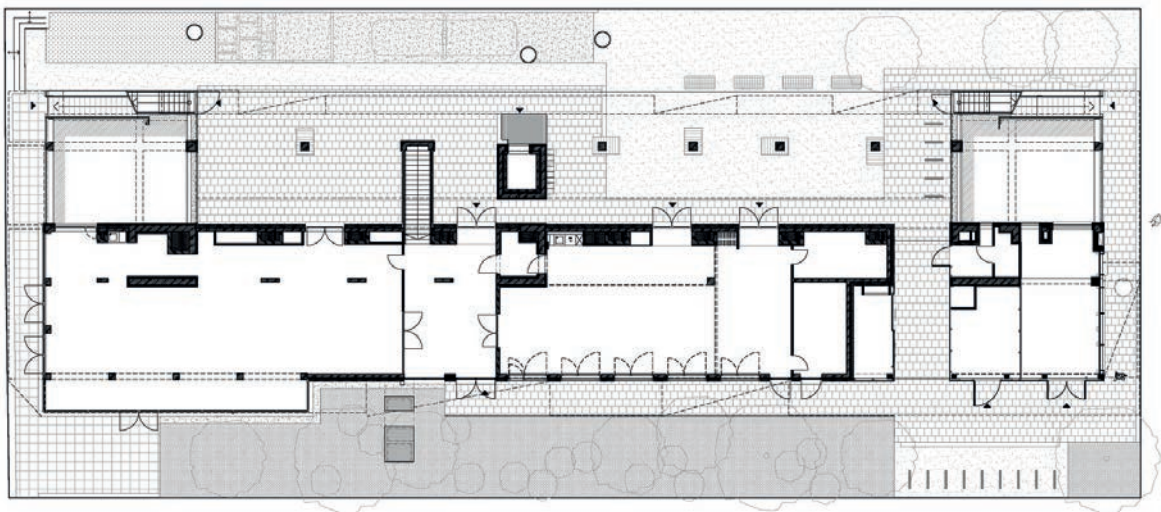




Dachgeschoss



Regelgeschoss



Erdgeschoss

Abb. 47: Projekt A: Planunterlagen
(Web URL < <https://www.nextroom.at/building.php?id=39436&inc=-plan>>, 14.12.2019)

5.2. Fallstudie A

5.2.1. Grundlagen

Zur Erstellung des Modells von Projekt A wurden Grundrisse der wesentlichen Geschosse (Erdgeschoss, Regelgeschoss und Dachgeschoss) sowie ein Querschnitt des realisierten Projekts als Grundlage genutzt (Abb. 47–48). Über diese Planunterlagen sowie Ansichten zu dem Gebäude sind die notwendigen Informationen zusammengetragen worden, um ALBIS mit den formgebenden Parametern zu versorgen.

Gebäudestruktur

Das Gebäude lässt sich in drei Zonen gliedern (Abb. 49). Die Sockelzone besteht aus dem Erdgeschoss, das in seinen Funktionen mit dem Untergeschoss teilweise verknüpft ist und durch eingeschnittene Innenhöfe Blick- und Wegbezüge schafft. In dieser Zone befinden sich halböffentliche Räumlichkeiten für Gastronomie und Veranstaltungen sowie Funktionsräume für Müll und Lagerflächen. Über zwei Stiegenaufgänge und einen Aufzug werden die oberen Geschosse erreicht. Hier befinden sich vier Wohngeschosse mit durchgesteckten Geschosswohnungen, die entlang der nordwestlichen Fassade über einen Laubengang erschlossen werden. Die gesamte vertikale Wegführung erfolgt über die Treppen an den beiden Enden dieses Laubengangs und wird in der Mitte durch einen Aufzug ergänzt. Die gesamte Erschließungszone funktioniert als eigständiger konstruktiver Bauteil, der vor dem bewohnten Baukörper steht. Durch abschnittsweise Verbreiterungen der Gangstruktur werden zusätzliche Flächen für die Nutzer geschaffen. Der Baukörper der Wohnungen besteht aus einer Tragkonstruktion in Skelettbauweise, die mit Holzfertigteil-Wänden ummantelt wird und entlang der Breite durch Trennwände in Wohnungsgrundrisse unterteilt wird. Entlang der Längsseite verläuft in der Mitte des Gebäudes eine Versorgungsschicht, in der sich Nasszellen und Schächte befinden, die durch alle Geschosse durchlaufen. Die Decken werden zwischen den äußeren Längsseiten des Gebäudes und der mittleren Versorgungszone durch Stützen und Unterzüge getragen und normal darauf durch Wandscheiben ausgesteift. Vorwiegend an der südöstlichen Fassade und vereinzelt auch an den beiden kurzen Fassadenfronten befinden sich auskragende Balkonplatten. Die oberste Zone bildet das Dachgeschoss mit einzelnen Räumen für eine gemeinschaftliche Nutzung sowie einer Dachterrasse mit Dachgarten.



Abb. 48: Projekt A: Planunterlagen Schnitt (Web URL < <https://www.next-room.at/building.php?id=39436&inc=-plan&sid=7828>> , 14.12.2019)

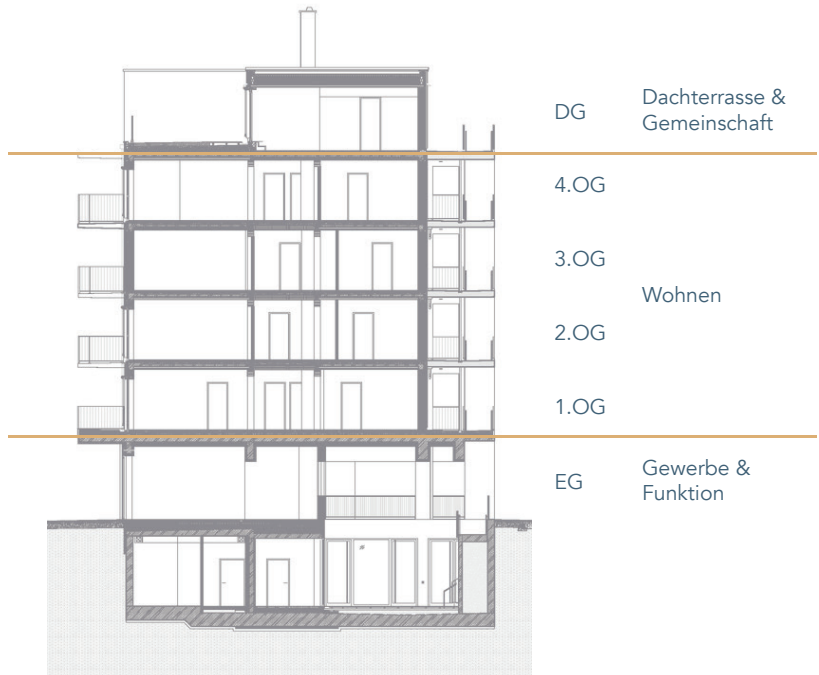


Abb. 49: Projekt A: Nutzungsbereiche

Parameter und generierbare Elemente

Bei der Generierung des Gebäudes liegt ein Hauptaugenmerk auf den Wohngeschossen (1.–4. OG). Dennoch sind gerade die individuellen Grundrisse in UG, EG und DG ein essentieller Bestandteil des Wohngebäudes. Wie im Zuge der Generierung mit solchen Bereichen umgegangen werden kann, soll genauso untersucht werden und in den Prozess mit ALBIS integriert werden. Bei der Erarbeitung mit ALBIS wird auf das Untergeschoss verzichtet, da hierfür zu wenige Informationen vorliegen. Das Untergeschoss wurde vollständig vor Ort errichtet und hat daher auch keinen Anteil am Vorfertigungsprozess des Gebäudes.

Für die Rasterstruktur lassen sich längs des Gebäudes vier durchgehende Achsen erkennen, die sowohl im EG als auch in den Wohngeschossen gleichermaßen positioniert sind. Diese verlaufen mit unterschiedlichen Abständen zueinander und bilden Spannweiten von ca. 5m an den äußeren beiden Feldern und 2,85m in der Mitte. Entlang dieser primären Tragstruktur konnten die orthogonal dazu stehenden Achsen in unregelmäßigen Abständen angeordnet werden. Dabei gibt es nur wenige Übereinstimmungen zwischen den Geschoss-Zonen. Für die Generierung wird das Stützenraster aus den Wohngeschossen übernommen und durch einzelne Rasterlinien, die für das EG notwendig sind, ergänzt. Die Wohnungstrennwände liegen dabei oftmals nicht in der Achslinie des Stützenrasters. Mit ALBIS sind solche Abweichungen vom Raster für Wohnungsgrundrisse möglich, daher müssen keine zusätzlichen Rasterlinien dafür erzeugt werden. Die unabhängige Struktur der Erschließung zeigt ebenfalls andere Rasterabstände, als die des restlichen Gebäudes. Dabei wird auf die Generierung mittels einer Gruppierung von Bauteilen zurückgegriffen, die geschossweise generiert wird. Der Liftkern befindet sich in der gerasterten Gebäudestruktur und wird dort als zweites Erschließungselement generiert. Abschließend werden die Wohngeschosse noch durch Balkone ergänzt. Diese befinden sich vorwiegend an der südöstlichen Fassade und vereinzelt an den angrenzenden kürzeren Fassadenstücken. Dabei wird eine Plattengröße von 2,20m Tiefe und 3,40m Breite vorgesehen. An bestimmten Stellen gibt es größere und kleinere Platten, die durch manuelle Anpassung ihre finale Form erhalten. Abschließend müssen speziell im Erdgeschoss und im Dachgeschoss einzelne manuelle Ergänzungen getätigt werden. Diese mit ALBIS zu generieren würde, aufgrund der einzelnen Vorkommnisse, keine zeitliche Optimierung darstellen und mehr Aufwand bedeuten.

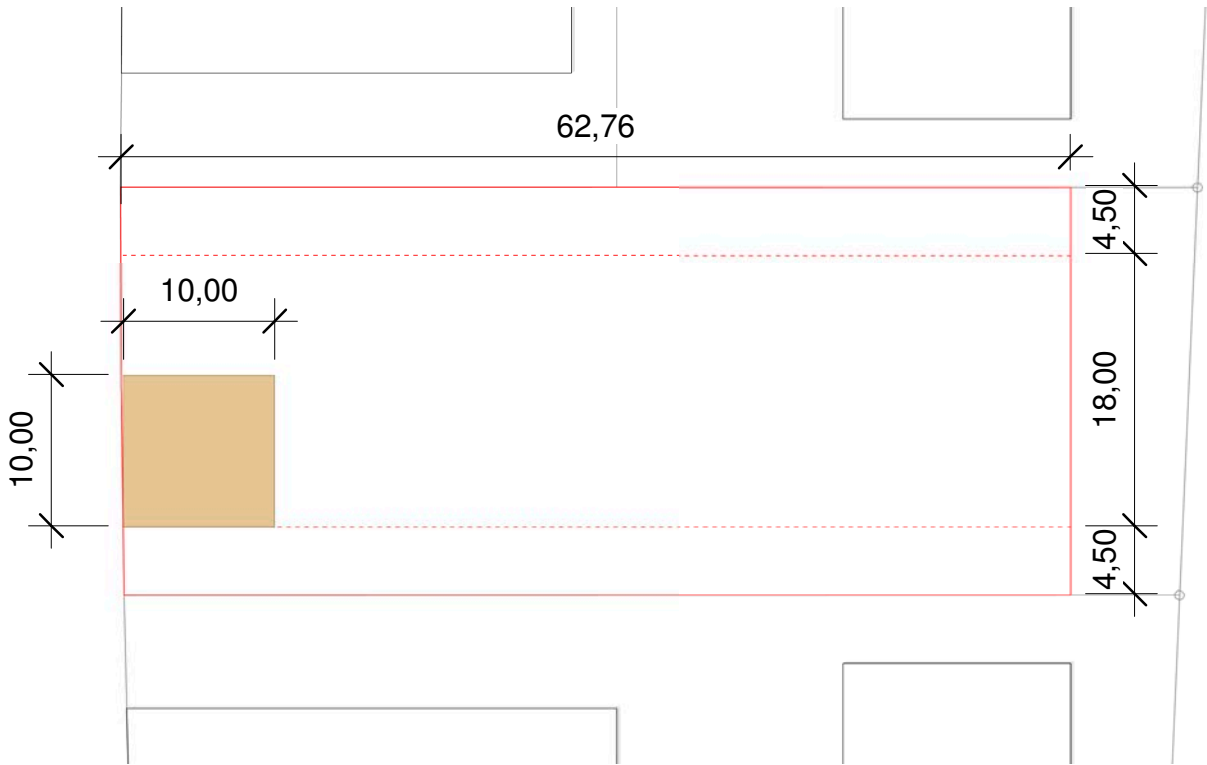


Abb. 50: Projekt A mit ALBIS 01:
Körper und Bauplatz 1:500

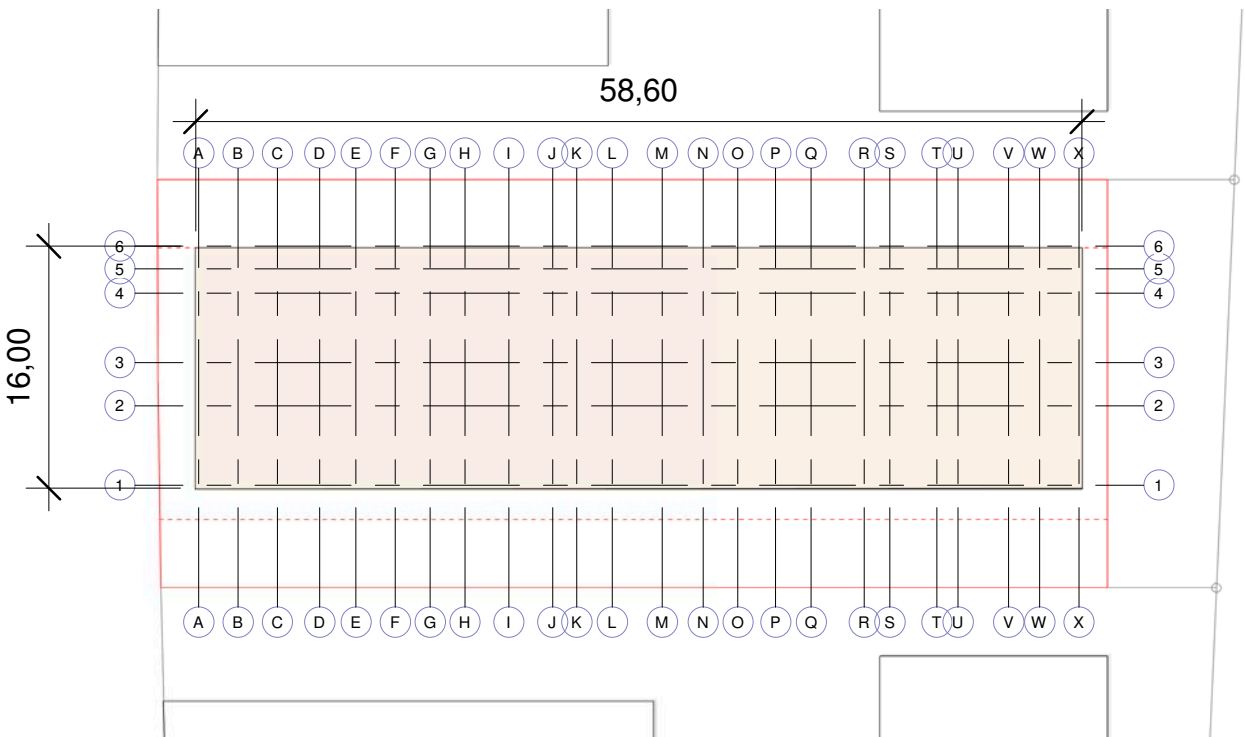


Abb. 51: Projekt A mit ALBIS 02:
Raster und Dimensionen 1:500

5.2.2. Modell generieren

Die schrittweise Generierung von Projekt A erfolgt nach dem Schema des entwickelten Skripts. Die einzelnen Schritte der Fallstudie A werden nachfolgend dokumentiert. Alle manuellen Eingaben werden beschrieben und die algorithmisch gelösten Bereiche mit den eingesetzten Parametern aufgelistet. Zusätzlich soll auch die gemessene Zeit Aufschluss über den Arbeitsaufwand geben.

1. Arbeitsumgebung

Die Einrichtung der Arbeitsumgebung, bestehend aus der Verknüpfung des Körpers in Revit und der Excel-Tabellen mit Dynamo, erfolgt nach vorgestelltem Prinzip. Dabei wird als erster Parameter die Position des Baukörpers durch manuelles Platzieren in Revit benötigt. Der Körper wird mit seinen Grunddimensionen von 10x10x10m an der linken unteren Ecke des Bauplatzes positioniert (Abb. 50).

2. Grundgerüst

Die Grundstruktur, bestehend aus Raster und Geschossebenen wird zuerst generiert. In einem laufenden Entwurfsprozess wäre zunächst die Ermittlung der passenden Achsabstände möglich (siehe Kapitel 4.1.2. Grundgerüst). Da in diesem Fall die gewünschten Abstände bereits vorliegen, werden die Werte in die Excel-Tabelle eingetragen und die Rasterlinien und Ebenen daraus generiert (Abb. 51–52). Die Differenzberechnung der Breite ergibt dabei einen fehlenden Abstand von 20cm. Dieser Wert entspricht dem Abstand zur Außenkante des Volumens und entfällt an der Seite des Laubengangs, weil die Außenwand, die den Abstand benötigt, bereits bei Rasterlinie 4 liegt. Um den Arbeitsaufwand zu reduzieren, könnte die Anzahl an benötigten Rasterlinien über die empirische Generierung eingegeben und generiert werden. Dadurch wäre die Tabelle zunächst zwar mit gleichen Rasterabständen, aber der richtigen Anzahl an Achsen erzeugt und es müssten lediglich die Werte in der ausgefüllten Tabelle angepasst werden.

3. Konstruktion

Um die einzelnen tragenden Elemente zu generieren, werden alle vertikalen Elemente (Stützen und Wände) in einer Liste eingetragen (Abb.53–54). Diese Aufgabe wird für jeden Geschosstyp durchgeführt. Für Projekt A gibt es neben dem Regelgeschoss noch eine Variante im EG und eine andere Struktur im obersten Geschoss (in der Tabelle als DG definiert). Es wird in diesem Schritt sichtbar, dass die Eingabe über Rasterpunkte weniger intuitiv und daher auch fehleranfällig ist, weil das Ergebnis nicht direkt sichtbar ist. Da das Ausführen dieses Prozessschritts jedoch nur wenige Sekunden dauert, können Korrekturen schnell eingearbeitet werden. Die Geschossdecken

1 Parameter & Informationen:

P Position Baukörper
Verknüpfen der Software

T Zeitaufwand: 10 min

2 Parameter & Informationen:

P Raster: Variabel Abstände
X-Richtung: ca. 2,5m
Y-Richtung: ca. 5m

Geschosshöhe: 3m
(erhöht in EG & DG)

T Zeitaufwand: 15 min

3 Parameter & Informationen:

P Stützen & Wände als Liste
Stützentyp
Wandtyp
Deckentyp

T Zeitaufwand: 40 min

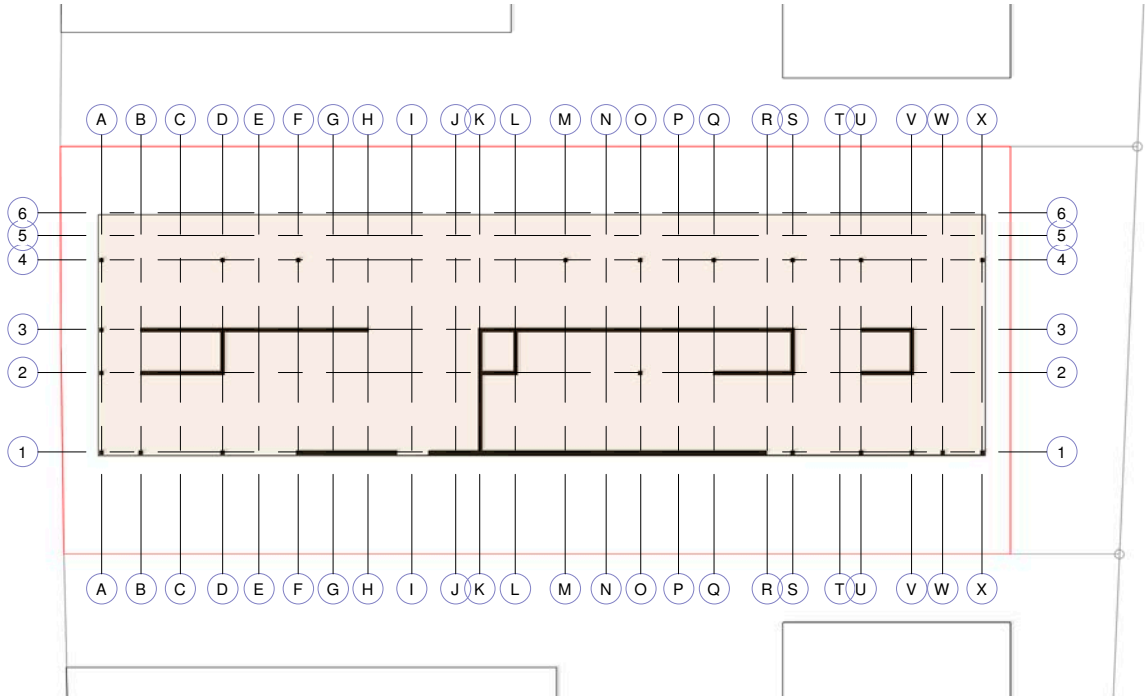


Abb. 54: Projekt A mit ALBIS 03: tragende Elemente im EG 1:500

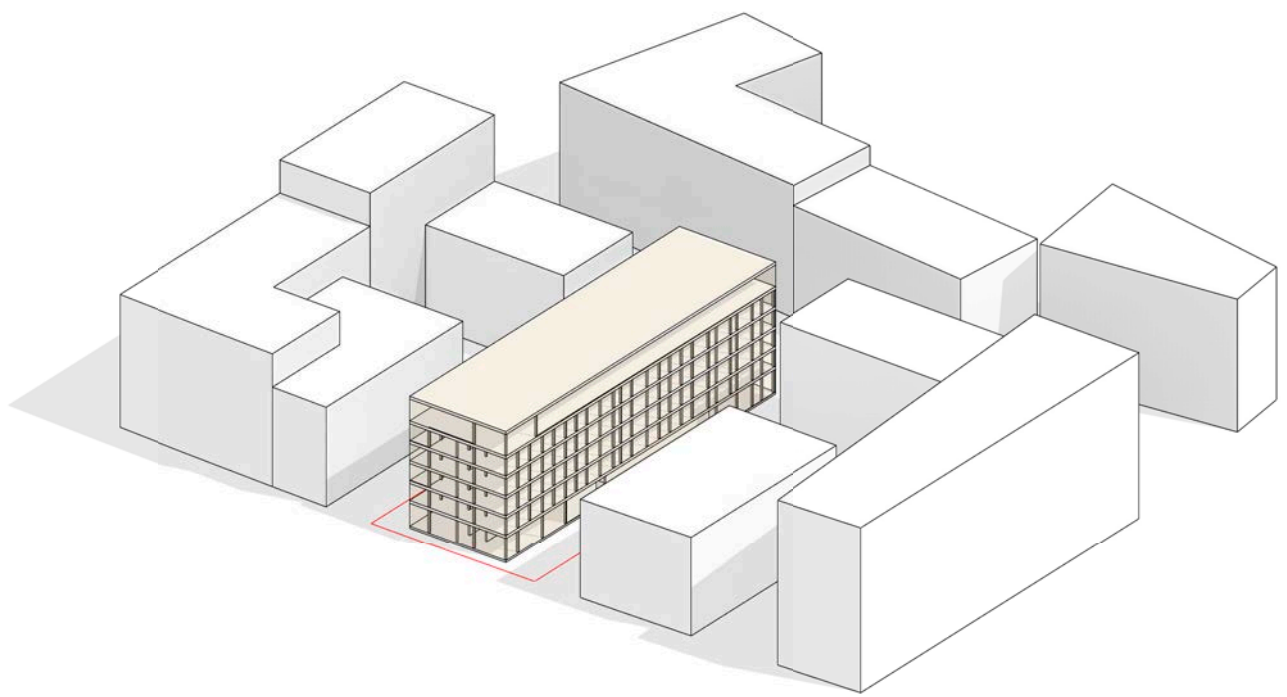


Abb. 55: Projekt A mit ALBIS 03: Axonometrie der tragenden Elemente

werden automatisch an jeder Ebene, die bereits im 2.Schritt erstellt wurde, generiert. Die Umriss der Decken verlaufen entlang der Außenkante des Körpers (Abb. 55). Der entkoppelte Laubengang, der sich zwischen den Rasterlinien 4 bis 6 erstreckt, sollte nicht dieselbe Geschossdecke besitzen. Das wird im folgenden Schritt behoben. Auch die notwendigen Durchbrüche werden im nächsten Schritt gemeinsam mit der Erschließung generiert.

4. Erschließung

Die Erschließung besteht zum einen aus dem Liftkern, der sich in jedem Geschoss in gleicher Form befindet, und zum anderen aus einem Laubengang. Die Gangstruktur besitzt zwei Versionen, die sich durch unterschiedliche Verbreiterungen in der Gangform auszeichnen. Es werden dafür zwei Laubengang-Typen erstellt und gruppiert, die abwechselnd generiert werden. Die größere Geschosshöhe im EG wird durch einen eigenen Treppenaufgang mit Podest überbrückt. Dieser wird als zusätzliches Element erzeugt. Außerdem wird über die Tabelle für Deckendurchbrüche (Abb. 56) ein Durchbruch für den Aufzug generiert und ein Deckenabzug für den Bereich des Laubengangs. Die Erschließungsmodule des Laubengangs beinhalten ihre eigene Deckplatte (Abb. 57–59).

4 Parameter & Informationen:

- P** 1 Erschließungsmodul Kern
- 2 Erschließungsmodule Laubengang (mit zusätzlichen Treppen-Elementen im EG)
- 1 Deckendurchbruch für den Aufzug
- 1 Deckenabzug für den Laubengang

- T** Zeitaufwand: 55 min

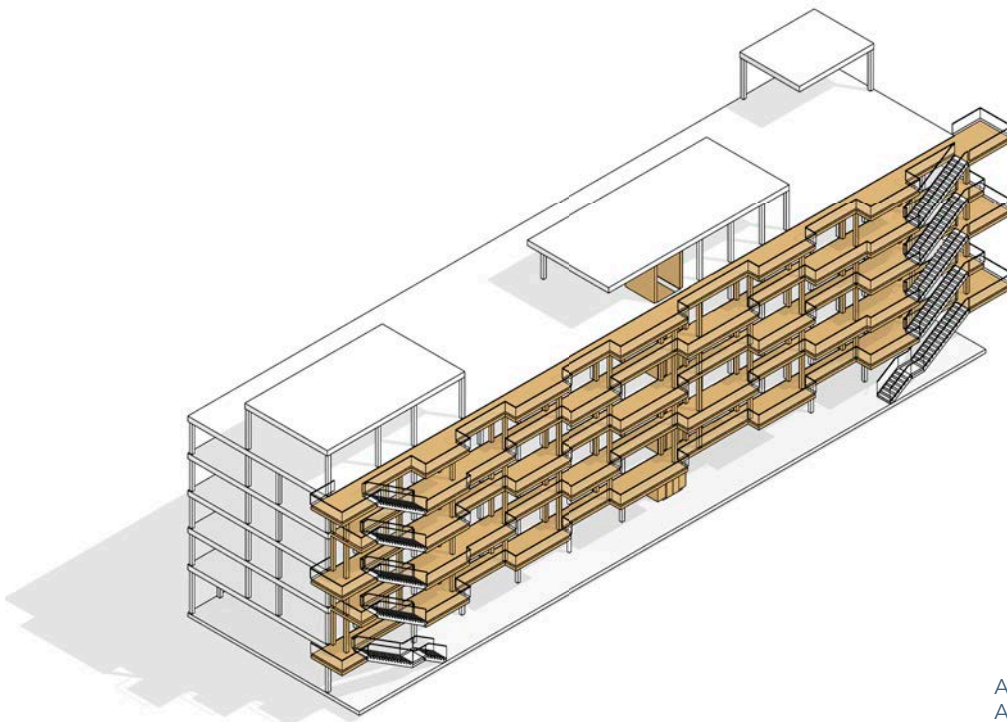


Abb. 59: Projekt A mit ALBIS 04: Axonometrie mit Erschließung

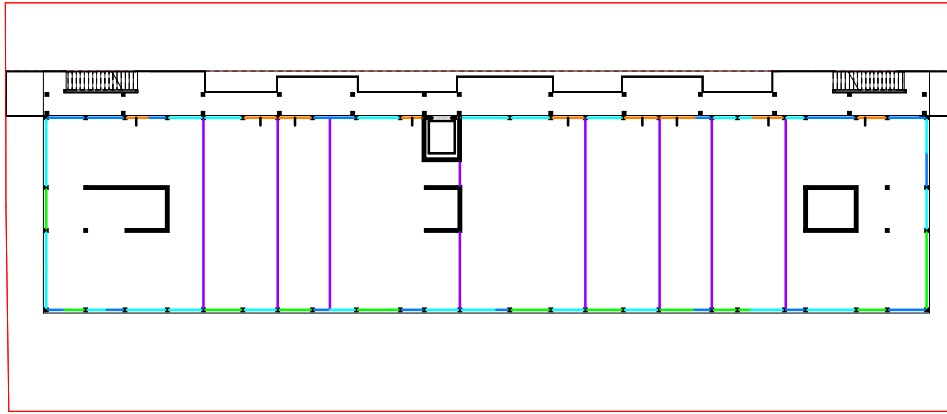


Abb. 60: Projekt A mit ALBIS 05:
Grundriss mit Linien-Grundrissen
3.OG 1:500

05 Wohnungsmodule

Trage alle Wohnungsmodule und ihre Positionen sowie eventuelle Transformationen (Spiegeln, Drehung) ein.

Wohnmodule					
Name	Nullpunkt	Drehung	Spiegeln	Ebenen	Anzahl
W_01	A1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_02	E1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_03	E1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_04	L1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_05	L1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_02	O1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_03	O1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_02	R1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_06	T1	0	0	1, 2, 3, 4	4

Abb. 61: Projekt A mit ALBIS 05:
Wohnungsmodule in Excel

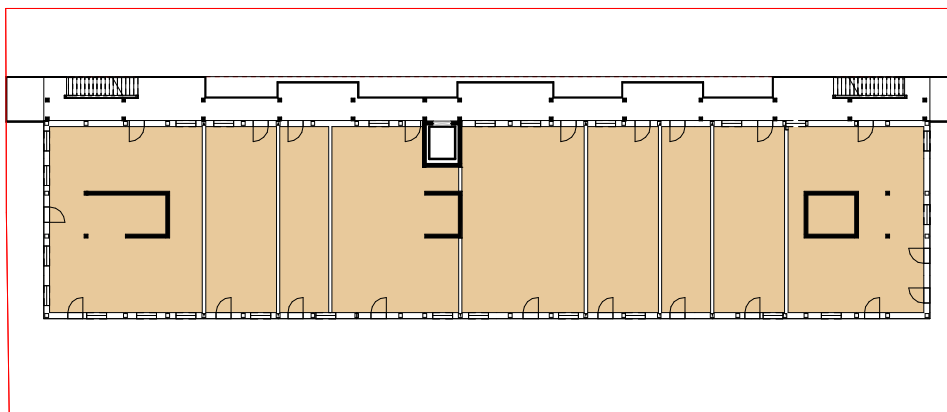


Abb. 62: Projekt A mit ALBIS 05:
Grundriss der Wohnungen 3.OG
1:500

5. Wohnungen

Für die Wohnungen von Projekt A werden zunächst die Wohnungstypen als Linien-Grundrisse gezeichnet (Abb. 60). Dabei sind lediglich die Außenkonturen notwendig. Da diese Grundrisse als Gruppen vorhanden sind, könnte nachträglich die innere Struktur mit Innenwänden, Innentüren und Möblierung eingezeichnet werden. Diese würde in jeder Instanz dieses Typs erzeugt werden. Für die Überprüfung genügen die begrenzenden Bauteile. Die Typen werden über die eingetragenen Daten in der Excel-Tabelle (Abb. 61) an ihren Positionen generiert. Weil manche Wohnungsgrundrisse nicht direkt an einem Rasterpunkt einen Eckpunkt besitzen, muss der Ursprung dieser Liniengrundrisse an die Position des nächstgelegenen Rasterpunkts gesetzt werden, um diesen an der richtigen Position zu generieren. Mit der Ausführung des Skripts werden alle 3D-Elemente an den vorgesehenen Positionen generiert und ein Raumstempel je Wohnung erzeugt (Abb. 62–63). Die Räume in EG und DG könnten ebenfalls als „Wohnungsmodul“ erzeugt werden. Für dieses Projekt wurde jedoch eine manuelle Ergänzung dieser einzelnen Räume bevorzugt.

5 Parameter & Informationen:

P 6 Wohnungsmodule

Wandtypen

Fenstertypen

Türtyp

T Zeitaufwand: 40 min



Abb. 63: Projekt A mit ALBIS 05:
Axonometrie mit Wohnungen und
Fassade

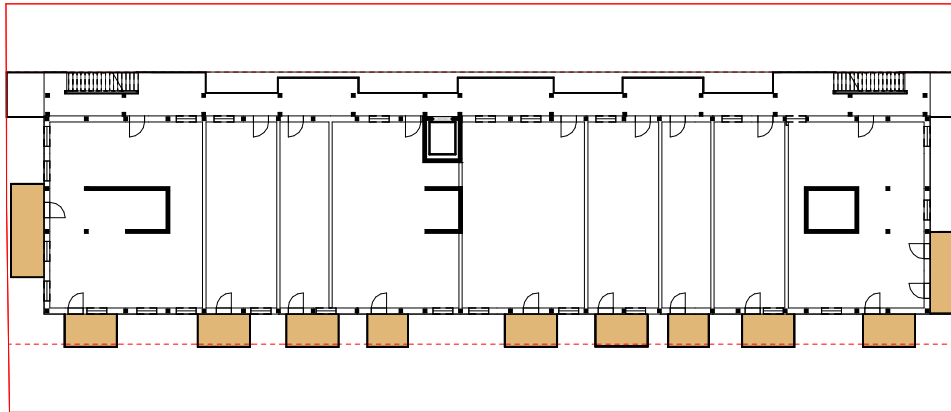
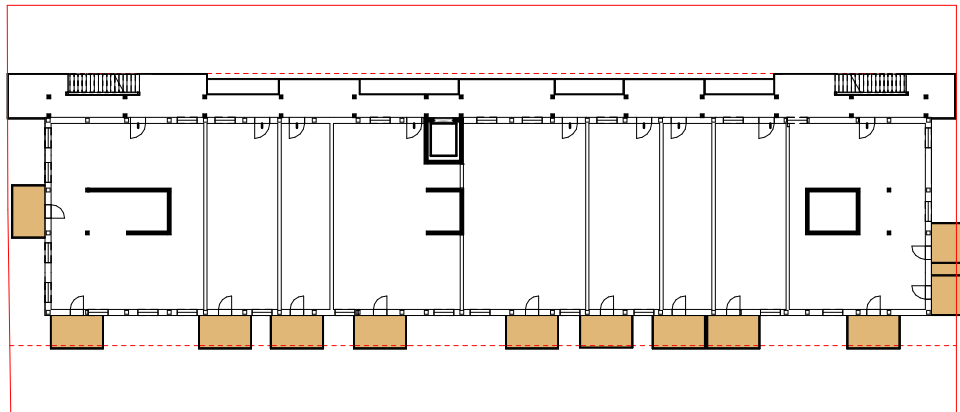


Abb. 64: Projekt A mit ALBIS 07:
Grundriss mit Balkonen vor und
nach der Anpassung 3.OG 1:500



Abb. 65: Projekt A mit ALBIS 07:
Ansicht mit Balkonen

6. Fassade

Die Fassade wurde im Zuge der Generierung der Wohnungen zum größten Teil bereits erzeugt. Die ausstehenden Fassadenelemente in EG und DG werden gemeinsam mit den manuellen Ergänzungen am Ende des Ablaufs ergänzt.

7. Freiräume

Die Balkon-Elemente werden über die Parameter mit einer Tiefe von 2,20m und einer Breite von 3,40m generiert. Diese Größe entspricht dem Großteil der vorhandenen Balkone. An einzelnen Elementen müssen jedoch Anpassungen vorgenommen werden. So sollen beispielsweise die beiden Fassadentüren an der nordöstlichen Fassade, statt auf zwei Balkone, auf einen gemeinsamen Balkon mit einer etwas geringeren Tiefe führen. Außerdem sollen die Balkone zusätzlich noch Verschiebungen entlang der Fassade erhalten, um das unregelmäßige Muster der Vorlage zu erhalten (Abb. 64). Diese Verschiebung kann über Parameter in ALBIS ermöglicht werden, oder durch manuelle Anpassung erfolgen. Schließlich sind alle privaten Freiräume um das Gebäude modelliert (Abb. 65–66).

7 Parameter & Informationen:

P Balkongröße
Geländer
Balkondecke

T Zeitaufwand: 30 min

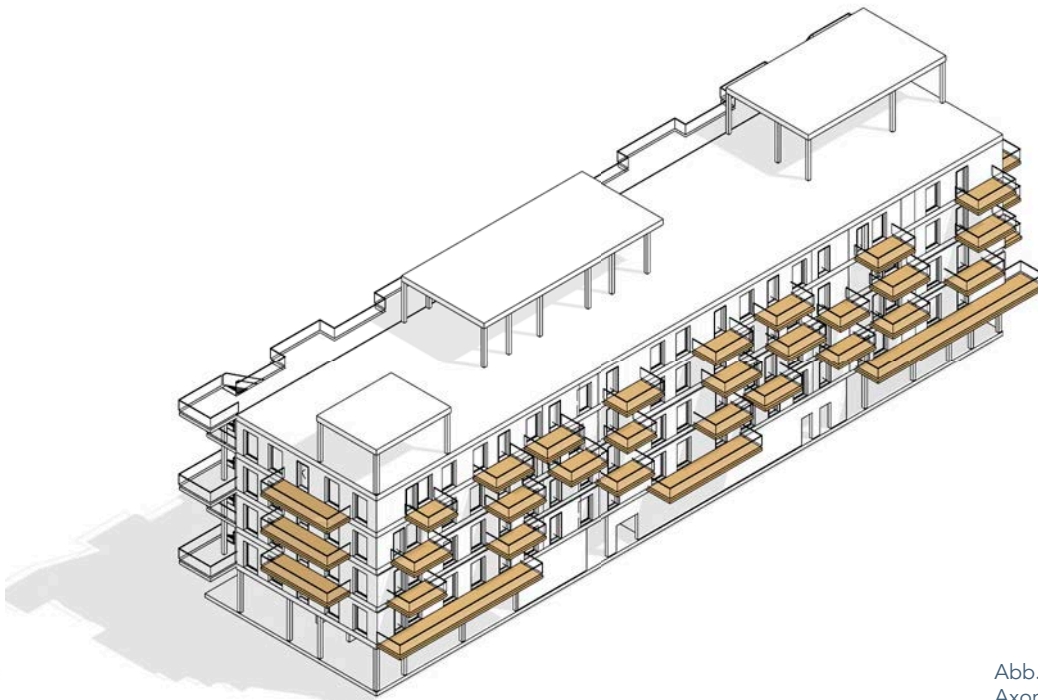


Abb. 66: Projekt A mit ALBIS 07:
Axonometrie mit Balkonen

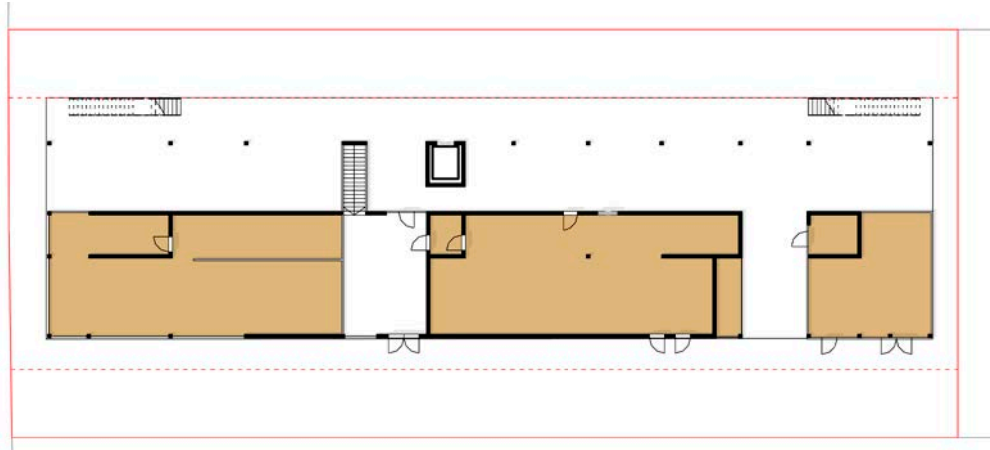
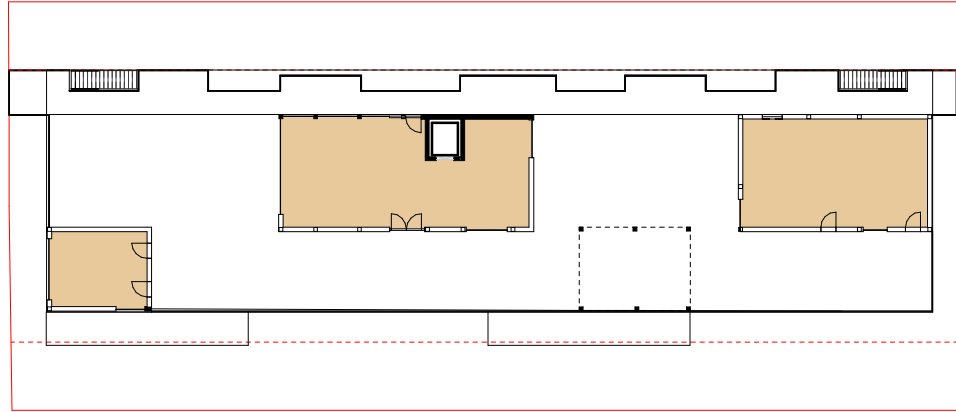


Abb. 67: Projekt A mit ALBIS: EG (unten) und DG (oben) mit manuellen Ergänzungen 1:500

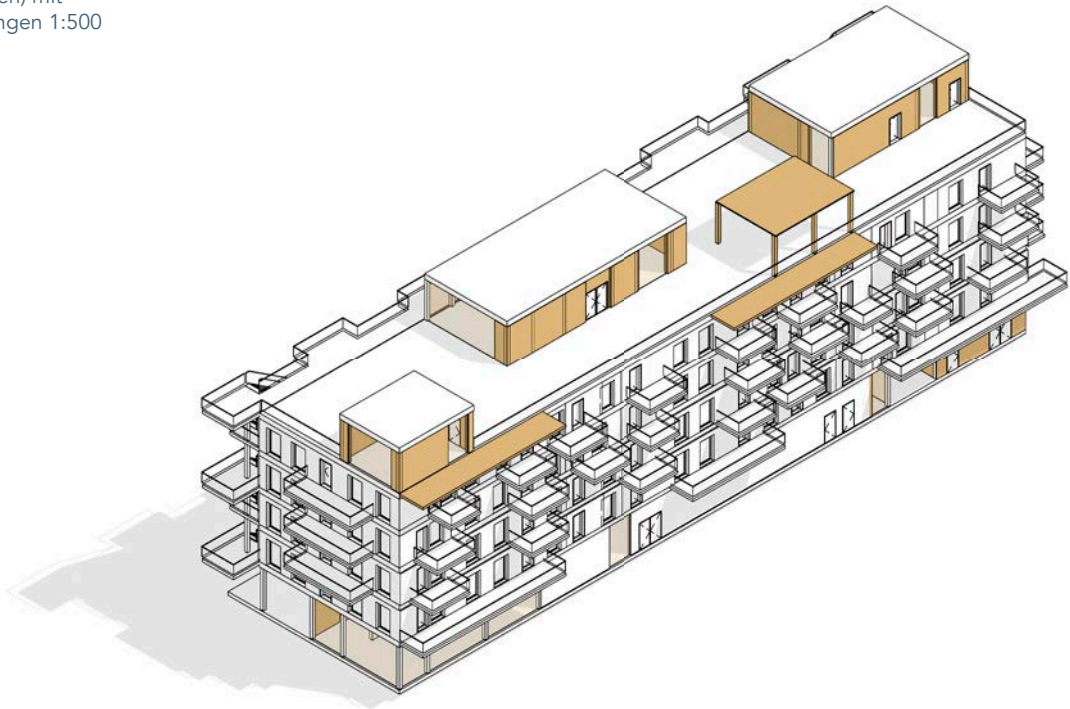


Abb. 68: Projekt A mit ALBIS: Axonometrie mit manuellen Ergänzungen

Manuelle Ergänzungen

Das BIM-Model wird abschließend noch mit den notwendigen Elementen ergänzt, um die Auswertung durchführen zu können. Dabei müssen vor allem die fehlenden Räume platziert werden. Vom ersten bis zum vierten Obergeschoss konnten alle Elemente generiert werden. Im Erdgeschoss werden nun noch einzelne Wände ergänzt um den Bereich der Gastronomie, der Veranstaltung und des Müllraums sowie einzelnen Lagerflächen von der restlichen Grundfläche abzugrenzen. Im Dachgeschoss werden die Gemeinschaftsräume modelliert und die Dachterrasse entsprechend als Freiraum definiert (Abb. 67). Hier wurde auch eine Pergola mit sechs Stützen und einem Dach ergänzt. Zusätzlich befinden sich in diesem Geschoss zwei auskragende Deckenplatten, die über den Balkonelementen an der südöstlichen Fassade platziert werden. Damit ist das gesamte BIM-Modell von Projekt A abgeschlossen (Abb. 68–69) und kann in den Schritt der Auswertung übergehen.

M Manuelle Ergänzungen

T Zeitaufwand: 30 min

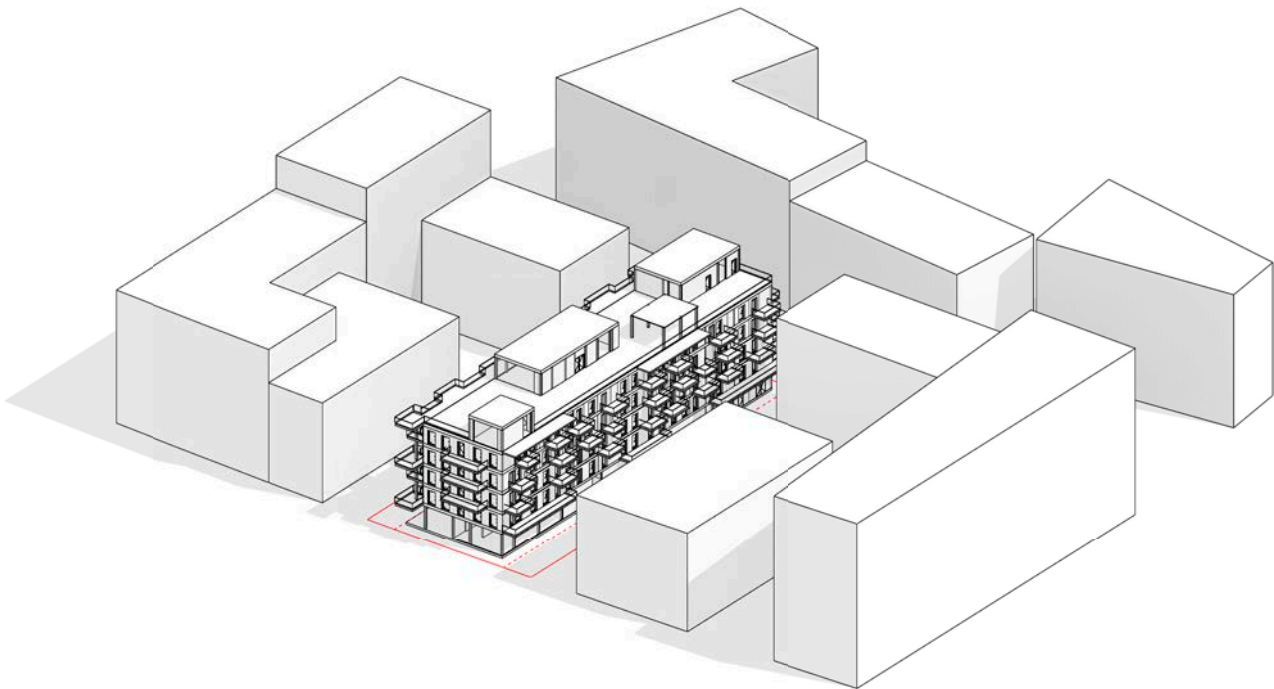


Abb. 69: Projekt A mit ALBIS:
Axonometrie des abgeschlossenen
Modells

Summen der Flächen

Alle Flächen aus Revit werden summiert und die Wohnungsgrundrisse, nach Typ gegliedert.

Berechnung der Flächenanteile [m²]

Typen	Stück	Stück [%]	Fläche	Fläche [%]
kleiner	0	0%	-	0%
A	8	22%	319,06	14%
B	12	33%	693,46	31%
C	0	0%	-	0%
D	0	0%	-	0%
E	12	33%	1.192,61	54%
größer	4	11%	486,90	22%

Gesamt	36	WNF:	2.205,13
		NNF	605,39
		HNF:	2.692,03

VF	1.186,66
FF	-
Freiraum	1.186,66

Abb. 70: Projekt A mit ALBIS: Summen der Flächen aus dem BIM-Modell

Abb. 71: Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Flächen

Auswertung Flächen

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

BGF (m ²)	KGF (m ²)	VF (m ²)	FF (m ²)	Nutzfläche (NF)		WE	Freiraum
				HNF (m ²)	NNF (m ²)	Anzahl	Fläche (m ²)
5.135,05	650,97	1.186,66	-	2.692,03	605	36	1.186,66
100,00%	13%	23,11%	0,00%	64,21%			

Verhältnis	Wert	Punkte	Punkte Gesamt
WNF/BGF	0,64	6,42	6,4
VF/WNF	0,44	6,40	

BRI (m³)
18.376,96

5.2.3. Auswertung generieren

Für die Bewertung von Projekt A wird das Dynamo-Skript zur Auswertung (Anhang 7) ausgeführt. Damit werden die Flächenlisten der Bruttogeschossfläche und der Nettoflächen aus Revit in Excel importiert und über die darin enthaltenen Formeln aufgegliedert. Außerdem werden die Bauteillisten für die Kostenbewertung und den Vorfertigungsgrad übermittelt. Alle weiteren manuellen Eingaben werden nachfolgend beschrieben.

Flächen

Die Flächenauswertung erfolgt automatisiert. Wichtig dabei ist die vollständige Belegung aller Nettoflächen mit Raumstempeln in Revit. Da die KGF als Differenz von BGF und den eingetragenen Nettogrundflächen ermittelt wird, würden alle nicht erfassten Flächen der KGF zugeordnet werden. Deshalb müssten alle Flächen, die nicht der NF, der FF oder der VF zugewiesen werden sollen, manuell von der BGF abgezogen werden. Das betrifft die Terrassenfläche im DG, die innerhalb des Revit-Körpers liegt, aber als Freifläche nicht zur Bruttogeschossfläche zählt. Außerdem werden auch die Rücksprünge, die durch die Gestalt des Laubengangs entstehen, abgezogen.

Nach den erfolgten Korrekturen der BGF ergibt das Verhältnis der HNF zur BGF 64% und das Verhältnis der VF zur HNF liegt bei 44%. Somit erreicht die Bewertung eine Gesamtpunktzahl von 6,4 von 10 Punkten für die Flächenbewertung (Abb. 70–71).

Energie

Die Energiebewertung muss über ein externes Programm zur Erstellung eines Energieausweises erfolgen. Da dieser Prozess nicht Teil von ALBIS ist wird nur für die Vollständigkeit ein fiktiver Wert von 12 kWh/m².a für den HWB angenommen. Dieser Wert entspricht der Energieklasse von A+ und ergibt eine Punktzahl von 9 Punkten (Abb. 72).

Auswertung Energie		
Durch Eingabe des Heizwärmebedarfs errechnen sich die Energieklasse und die erreichten Punkte.		
HWB (kWh/m ² .a)	Energieklasse	Punkte
12,00	A+	9

Abb. 72: Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Energieeffizienz

Flexibilität

Die Bewertung der Flexibilität von Projekt A wird über die vorgegebenen Fragen ermittelt (Abb. 73). Dabei können alle Fragen positiv beantwortet werden. Die durchgehende Raumhöhe von 2,80m in 15% der Fläche konnte über die Nutzräume in EG und DG erfüllt werden. Das Erdgeschoss erfüllt die geforderte Raumhöhe und nimmt 13% der Nutzfläche ein. Gemeinsam mit der Nutzfläche im DG werden 22% erreicht.

Kosten

Die Bewertung der Kosten erfolgt anhand der Bauteillisten der erstellten Decken, Wände und Stützen, die automatisiert in Excel-Listen importiert werden (Abb. 74–75). Über Eingabefelder sind die Kostengruppe und der erwartete Kostenbereich (min., max.) einzugeben. Für die Überprüfung wurden Werte aus dem BKI 2019 entnommen. Der „gesetzte EHP“ sollte über Schätzungen oder bereits vorliegende Kennwerte erfolgen. In diesem Fall wird

Abb. 73: Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Flexibilität

Auswertung Flexibilität

Angaben zur Flexibilität. Untenstehende Anforderungen sind mit Ja oder Nein zu beantworten.

Dimensionierung

Die statische Dimensionierung der Grundkonstruktion erlaubt Nutzungsänderungen

Ja/Nein Punkte

Ja	10
Ja	5
Ja	10

Die Raumhöhe ist durchgehend mindestens 2,80 m auf 15 % der Nutzfläche

Nicht tragende Elemente sind leicht austauschbar

Erweiterbarkeit/Entkernbarkeit

Nutzungseinheiten sind bzgl. der Grundrissgestaltung zusammenlegbar/trennbar

Versorgungsschächte liegen an als fix betrachteten Wandbauteilen & besitzen Reserven für eine Erweiterung

Ja	5
Ja	5

Erreichte Punkte

35 von 35

Punkte Flexibilität:

10,00

Abb. 74: Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Kosten

Abb. 75: Projekt A mit ALBIS: Tabellen der Kosten und Vorfertigungsgrade je Element-Typ

Auswertung Kosten*

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

Bauteil	Kosten min.	Kosten max.	Kosten*	Bewertung
Wände gesamt	€ 365.505,58	€ 489.213,53	€ 427.359,56	5,00
Decken gesamt	€ 432.583,41	€ 486.183,60	€ 459.383,51	5,00
Stützen gesamt	€ 818,04	€ 962,40	€ 890,22	5,00
SUMME	€ 798.907,03	€ 976.359,53	€ 887.633,28	5,00

*) Alle berechneten Kosten sind fiktive Beträge, die aus Mittelwerten errechnet wurden und in keinem Zusammenhang mit dem realisierten Projekt stehen.

Wände

Revit-Daten				Vorfertigung		Kosten					
Typ	Anzahl	Fläche	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt	Kostengruppe	min	Ø	max	Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
AW_NTr_10cm	12	206	20,57	90	18,51	332.51.01	€ 163	€ 269	€ 374	€ 268,50	€ 55.217,03
AW_NTr_303_HOL	18	246	74,46	90	67,01	332.34.01	€ 140	€ 152	€ 163	€ 151,50	€ 37.228,10
AW_NTr_400_HOL	248	937	374,72	90	337,25	332.34.02	€ 145	€ 159	€ 173	€ 159,00	€ 148.949,61
FA_NTr_3L_GLA	13	195	0,00	100	-	-	-	-	-	-	€ -
STB 25	86	866	216,40	80	173,12	341.24.01	€ 82	€ 93	€ 103	€ 92,50	€ 80.067,08
TW_NTr_220 GK	36	1.009	221,13	70	154,79	342.62.02	€ 90	€ 105	€ 120	€ 105,00	€ 105.897,75
					-	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -

Decken

Revit-Daten				Vorfertigung		Kosten					
Typ	Anzahl	Fläche	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt	Kostengruppe	min	Ø	max	Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
STB 20 Balkon	37	404	80,85	80	64,68	351.25.01	€ 57	€ 74	€ 91	€ 74,00	€ 29.911,00
STB 25	7	920	229,96	80	183,97	351.25.03	€ 69	€ 72	€ 76	€ 72,36	€ 66.554,30
STB-Halbfertigteil 20	9	5.016	2.206,95	60	1.324,17	351.25.03	€ 69	€ 72	€ 76	€ 72,36	€ 362.918,21
TB 8	1	41	3,27	95	3,11	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -

Stützen

Revit-Daten				Vorfertigung		Kosten					
Typ	Anzahl	Länge	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt	Kostengruppe	min	Ø	max	Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
TrSt_STB_rechteckig 250x250	262	3	41,92	90	37,73	343.24.01	€ 68	€ 74	€ 80	€ 74,00	€ 189,44
TrSt_STB_rechteckig 250x250	110	3	18,91	90	17,02	343.24.01	€ 68	€ 74	€ 80	€ 74,00	€ 203,50
TrSt_STB_rechteckig 250x250	26	3	5,30	90	4,77	343.24.01	€ 68	€ 74	€ 80	€ 74,00	€ 241,24
TrSt_STB_rechteckig 250x250	21	3	4,54	90	4,09	343.24.01	€ 68	€ 74	€ 80	€ 74,00	€ 256,04
					-	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -
					-	-	-	-	-	-	€ -

*) Alle berechneten Kosten sind fiktive Beträge, die aus Mittelwerten errechnet wurden und in keinem Zusammenhang mit dem realisierten Projekt stehen.

Auswertung Vorfertigung

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

Bauteiltyp	Volumen (m³)	Anteil vorgefertigt (m³)	Anteil in %
Wände	907,28	750,69	83%
Decken	2.521,03	1.575,92	63%
Stützen	70,67	63,60	90%
Gesamt	3.498,98	2.390,21	68%
Punkte:			6,83

Abb. 76: Projekt A mit ALBIS:
Auswertung der Vorfertigung

Auswertung Gesamt

Gib die Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien an. Die Punkte werden aus den einzelnen Bewertungsverfahren der jeweiligen Kriterien übertragen.

Kriterien	Gewichtung (%)	Punkte	Punkte gewichtet	Gesamt
Flächen	35%	6,41	2,24	7,7 von 10
Energie	5%	9,00	0,45	
Kosten	5%	5,00	0,25	
Flexibilität	30%	10,00	3,00	
Vorfertigung	25%	6,83	1,71	
100%				

Abb. 77: Projekt A mit ALBIS:
Gesamtbewertung

der Mittelwert der Referenzdaten übernommen. Für Projekt A wurden keine realen Informationen über die Aufbauten der einzelnen Elemente verwendet. Aus diesem Grund entsprechen die gewählten Elemente nur Annahmen, die aber für die Überprüfung der Durchführbarkeit von ALBIS ausreichen. Es findet hier keine tatsächliche Kalkulation der Bauteilkosten des realisierten Projekts statt. Die Bewertung ergibt darum auch eine neutrale Punktezahl von 5 Punkten, da die gesetzten Einheitspreise immer dem Mittelwert der einzelnen Bauteile entsprechen.

Vorfertigung

Die Informationen zur Vorfertigung sind ebenfalls Annahmen, die den einzelnen Bauteilen zugeschrieben werden. Diese Informationen können den Elementen in der Liste zugewiesen, oder direkt in Revit den Bauteilen angefügt werden (Abb. 75). Dafür steht ein Element-Parameter zur Verfügung. Die Bewertung erfolgt schließlich über die Volumina der einzelnen Elemente. Es wird für alle Bauteile in den Obergeschossen ein Vorfertigungsgrad über 50% angenommen, da dies auch für die Realisierung von Projekt A vorgesehen war. In der Übersicht zur Vorfertigung ergibt sich daraus ein Gesamtwert von 6,83 Punkten (Abb. 76).

Gesamtbewertung

Für die Gesamtbewertung wurde schließlich eine Gewichtung der einzelnen Kriterien vorgenommen. Da sowohl die Energiebewertung als auch die Kostenbewertung aus fiktiven Kennwerten erstellt wurde, erhalten diese einen geringeren Anteil. Die Flächeneffizienz und die Flexibilität des Projekts sollen in diesem Stadium des Entwurfs entscheidende Faktoren sein. Mit 35% und 30% soll diesen Kriterien ein höherer Anteil zugestanden werden. Ebenso ist der Vorfertigungsgrad, für dieses Projekt und die in dieser Arbeit behandelte Thematik, ein Schwerpunkt gewesen und wird entsprechend gewichtet (Abb. 77).

Die Gesamtbewertung ergibt 7,7 Punkte. Um das Ergebnis zu verbessern, könnten die einzelnen Kriterien als Stellschrauben angesehen werden und durch Änderungen im Entwurf und mittels ALBIS als Werkzeugkette optimiert werden.

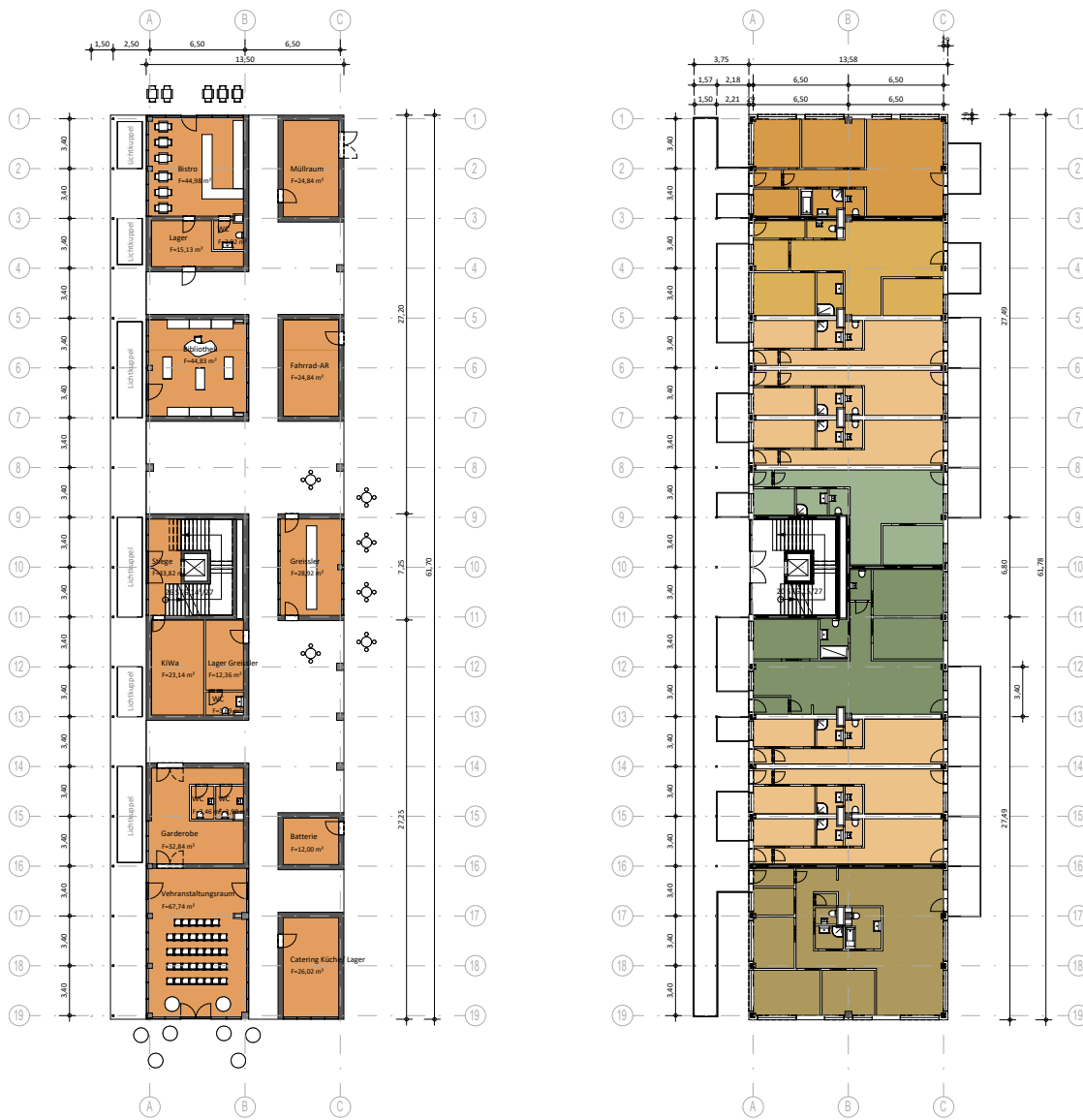
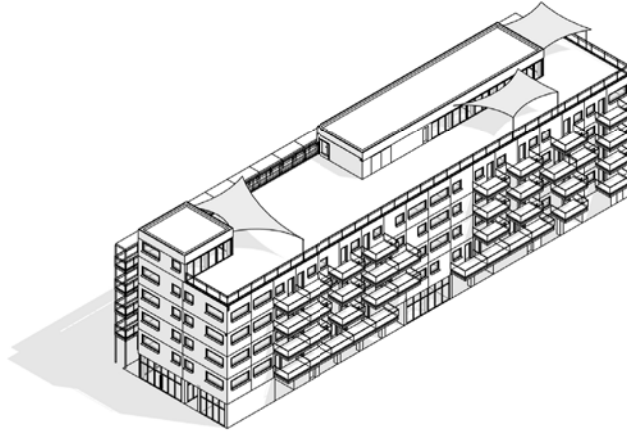


Abb. 78: Grundlagen von Projekt B (BIM-Modell und Grundrisse 1:500)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.3. Fallstudie B

5.3.1. Grundlagen

Als Grundlage für Projekt B dient das 3D-Modell im Revit-Format, welches im Rahmen der Entwurfsübung erstellt wurde (Abb. 78). Die nachfolgenden Eigenschaften stellten sich bei der Analyse des Projekts heraus und definieren die Vorgehensweise beim Generieren des Modells.

Gebäudestruktur

Das Gebäude besteht aus einem unterirdischen Geschoss, einem Erdgeschoss und fünf Obergeschossen. Im Untergeschoss (UG) befinden sich Einlagerungsräume, Nebenräume und Technikräume. Dieses wurde mit Ortbeton-Elementen geplant. Auf der darüberliegenden Erdgeschossenebene (EG), die auf einer Stahlbeton-Decke aufbaut, befindet sich ein offener Grundriss mit einem vertikalen Erschließungskern, bestehend aus Aufzug und Treppen. Dieser wird durch einzelne, meist allseitig durch Außenwände begrenzte Räumlichkeiten definiert, die für infrastrukturelle Nutzung (Müllraum, Fahrrad- und Kinderwagenstellplätze), oder für eine gemeinschaftliche und gewerbliche Nutzung (Veranstaltung, Café) gedacht sind. Vom ersten bis zum vierten Obergeschoss (OG) wird der konditionierte Bereich von Wohnungen definiert. Diese werden entlang der nordwestlichen Längsseite des Gebäudes über einen Laubengang erschlossen. Der nicht konditionierte Laubengang wird durch eine eigene Stahlkonstruktion getragen und ist über einzelne Stege mit den Wohnungseingängen verbunden. Lediglich der aus Stahlbeton geplante Erschließungskern befindet sich innerhalb der Gebäudehülle und liegt zentral auf mittlerer Höhe des Laubengangs. Das oberste Geschoss wird durch eine offene Dachterrasse dominiert, die durch einen Gemeinschaftsraum, der mit dem Erschließungskern direkt verbunden ist, und einem zusätzlichen Raum am südwestlichen Eck der Fläche, ergänzt wird.

Parameter und generierbare Elemente

Genauso wie bei der Generierung des Modells der Fallstudie A liegt auch bei diesem Projekt der Hauptfokus auf den Wohngeschossen. Das EG und das DG werden dennoch in den Prozess einbezogen, da diese Geschosse mit ihren Flächen und Funktionen einen wichtigen Bestandteil des gesamten Gebäudes einnehmen. Da das unterirdische Geschoss nicht Teil der modularen Planung ist, die im Rest des Gebäudes angedacht ist, wird diese Ebene auch bei der Generierung vernachlässigt und im Modell werden nur die oberirdischen Geschosse erzeugt. Dadurch bietet sich auch eine bessere Vergleichbarkeit

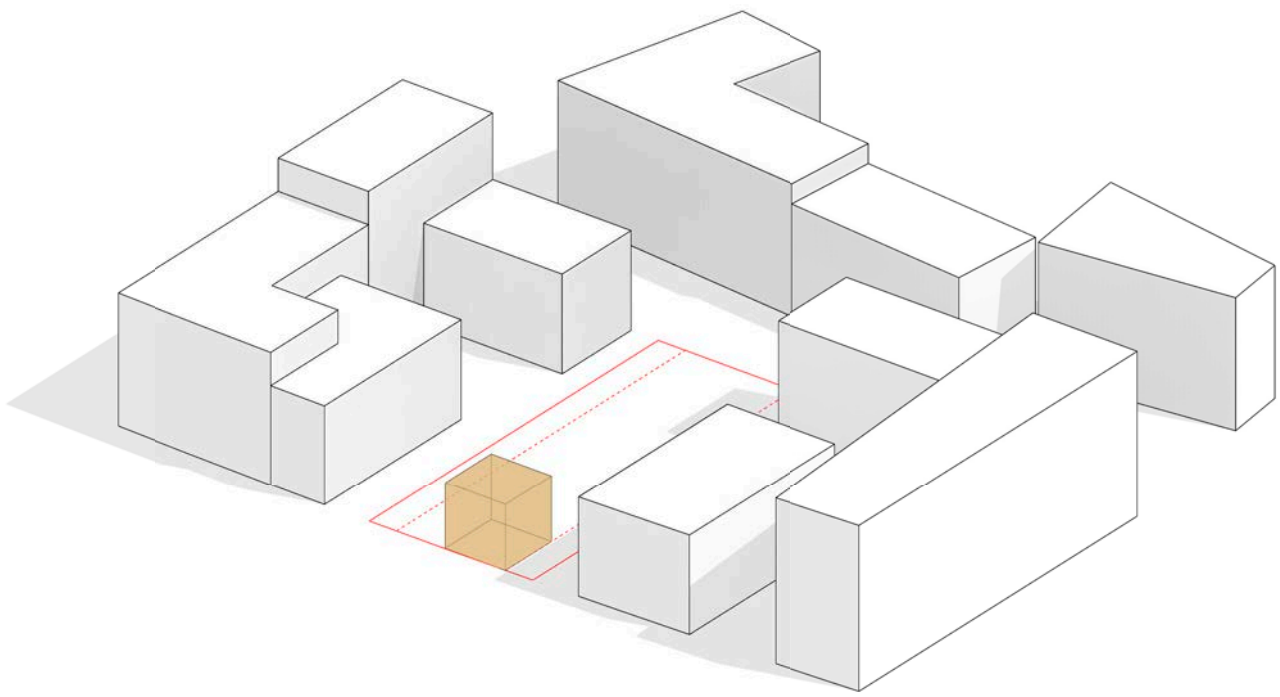


Abb. 79: Projekt B mit ALBIS 01: Axonometrie Körper und Umgebung

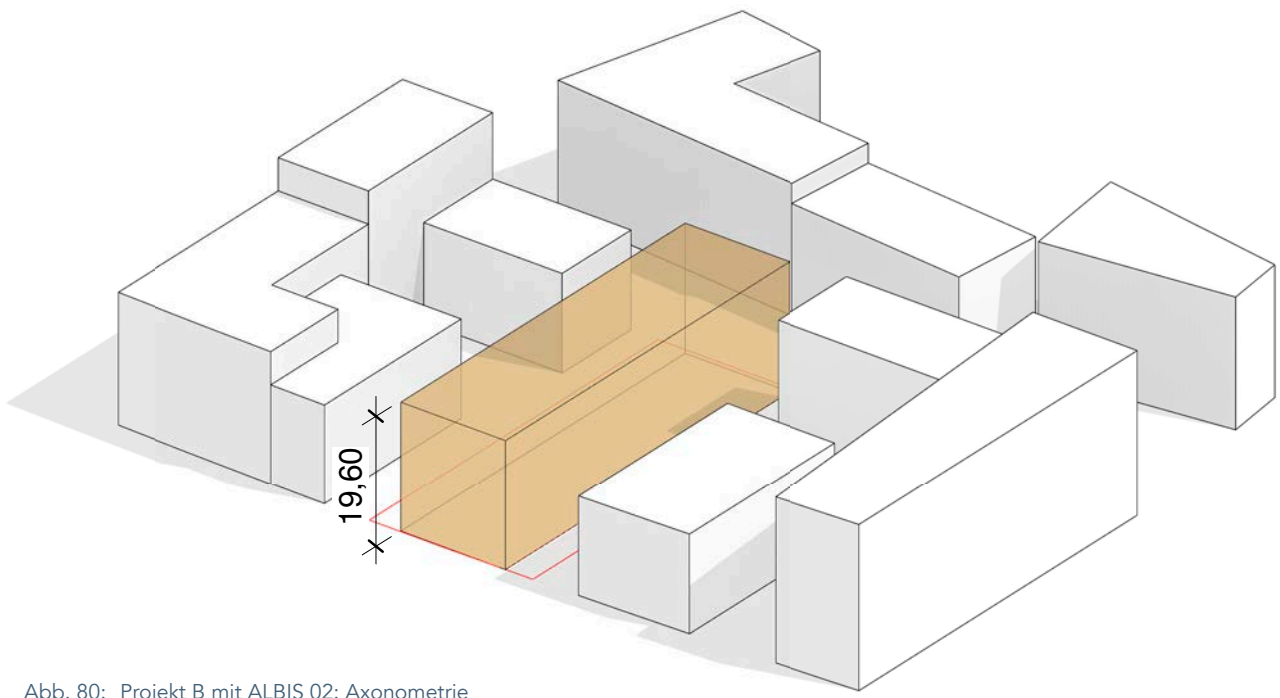


Abb. 80: Projekt B mit ALBIS 02: Axonometrie Körper angepasst durch ALBIS

zu Fallstudie A, in der ebenfalls nur die oberirdischen Geschosse generiert wurden. Das Gebäude folgt einem klaren Raster von 3,40m x 6,50m und bildet mit Stützen, Decken und dem Erschließungskern aus Stahlbeton die Tragstruktur.

Im Erdgeschoss befinden sich, neben der Erschließung und den tragenden Elementen aus Stahlbeton, vereinzelt nicht tragende, raumbildende Wände und Glasfassaden mit einer Pfosten-Riegel-Konstruktion. Diese nicht tragenden Elemente sollen abseits des Skripts manuell modelliert werden. Die Wohngeschosse können vollständig in Tragstruktur, Erschließungselemente und Wohnungsgrundrisse unterteilt werden und mittels ALBIS generiert werden. Die Fassade wird in diesen Geschossen durch Holz-Fertigteilwände gebildet, die die Tragstruktur umhüllen. Im Inneren werden weitere Fertigteilwände eingesetzt, um die Wohnungsgrundrisse zu bilden. Schließlich wird jeder Wohnung an der südöstlichen Längsseite des Gebäudes ein Balkon zugeordnet, der für jede Wohnung dieselbe Dimension besitzt. Das fünfte Obergeschoss wird ähnlich dem Erdgeschoss, nach der erfolgten Generierung der Elemente, der Erschließung und Tragstruktur, manuell mit den fehlenden Elementen ergänzt.

5.3.2. Modell generieren

Die Generierung von Projekt B erfolgt nach demselben Schema von ALBIS. Die einzelnen Schritte werden ebenso dokumentiert und manuell getätigte Eingaben werden beschrieben.

1. Arbeitsumgebung

Ausgangslage ist wiederum der Körper mit den Grunddimensionen von 10x10x10m. Dieser wird an der linken unteren Ecke des Bauplatzes positioniert (Abb. 79).

2. Grundgerüst

Die Erstellung des Grundgerüsts im Projektkörper (Abb. 80) bestehend aus Raster und Geschossebenen könnte zunächst mit der empirischen Methode erstellt werden. Da die vorliegenden Grundlagen jedoch bereits ein fertig konzipiertes Raster vorgeben und keine Untersuchungen der Rasterkonfiguration notwendig sind wird das Raster mittels der strategischen Methode generiert und die dafür notwendigen Daten in Excel eingetragen (Abb. 81). Durch die Differenzberechnung ist ebenfalls ersichtlich, dass eine Höhendifferenz von 30cm zur Gesamthöhe übrig bleibt, die später für Attikaabschlüsse genutzt werden soll. Außerdem darf der Abstand in der

1 Parameter & Informationen:

P Position Baukörper
Verknüpfen der Software

T Zeitaufwand: 10 min

2 Parameter & Informationen:

P Raster: 3,40 m x 6,50 m
+ zwei alternative Raster-
abstände mit 2,5 m & 1,5 m
(Laubengang)
Geschosshöhe: 3 m
alternativ in EG, 4.OG & 5.OG

T Zeitaufwand: 15 min

Breite um 20cm kleiner ausfallen. Da hier auch der konstruktive Aufbau des Laubengangs geringer ist, stimmen die Angaben. Die Geschosshöhe beträgt 3m und ist im EG um 85 cm und in den beiden obersten Geschossen (aufgrund stärkerer Dachaufbauten) leicht überhöht. Der Arbeitsaufwand beschränkt sich bei einer vorhergegangenen empirischen Generierung auf die manuelle Anpassung der einzelnen alternativen Abstände. Bei eventuellen späteren Überlegungen das Raster zu adaptieren, stünden ebenfalls beide Varianten zur Verfügung. Die Tabelle lässt sich dafür überschreiben. Die eingetragenen Werte generieren das Raster in Revit (Abb. 82).

3. Konstruktion

Um die einzelnen tragenden Elemente zu generieren werden alle vertikalen Elemente (Stützen und Wände) in einer Liste (Abb. 83) eingetragen. Diese Aufgabe wird für jeden Geschosstyp durchgeführt. Für Projekt B gibt es neben dem Regelgeschoss noch eine Variante im EG (Abb. 84) und eine andere Struktur im obersten Geschoss (in der Tabelle als DG definiert). Die Geschossdecken werden automatisch an jeder Ebene, die bereits in Schritt 2 erstellt wurde, generiert (Abb. 85–86). Die Umriss der Decken verlaufen entlang der Außenkante des Körpers (Abb. 87). Damit der entkoppelte Laubengang, der sich zwischen den Rasterlinien 3 und 5 erstreckt, nicht dieselbe Geschossdecke besitzt, wird im folgenden Schritt ein Deckenabzug vorgenommen. Auch die notwendigen Durchbrüche werden im nächsten Schritt gemeinsam mit der Erschließung generiert.

3 Parameter & Informationen:

P Stützen & Wände als Liste

Stützentyp

Wandtyp

Deckentyp

T Zeitaufwand: 25 min

Abb. 83: Projekt B mit ALBIS 03: Excel-Tabelle

03 Konstruktion			
Wähle zunächst an welchen Rasterpunkten Stützen generiert werden sollen. In einem zweiten Schritt gib an zwischen welchen Rasterpunkten sich Wände befinden sollen und schließlich auf welche Geschosse sich diese Tragstruktur bezieht.			
Typ	Punkte mit Stützen	Linien mit Wänden	Geschosse
Name	Punkte	Anfang-Ende	Ebenen
Regelgeschoss	A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1, H1, I1, J1, K1, L1, M1, N1, O1, P1, Q1, R1, S1, A3, B3, C3, D3, E3, F3, G3, H3, I3, K3, L3, M3, N3, O3, P3, Q3, R3, S3, A2, C2, E2, G2, M2, O2, S2	D1-D3, J1-J2, Q1-Q3	1, 2, 3, 4
EG	A2, A3, B3, C2, C3, F1, G1, H1, J1, L1, L3, N3, P1, R3, S3	C1-A1, E1-D1, D3-F3, F3-F2, F2-D2, D2-D3, G2-G3, G3-I3, I2-G2, M2-M3, O3-O2, O1-M1, S2-P2, P2-P3, P3-Q3, Q3-Q2, S1-Q1	0
DG	A2, A3, B2, B3, C2, C3, L2, L3, M2, M3, N2, N3, O2, O3, P2, P3, Q2, Q3	-	5

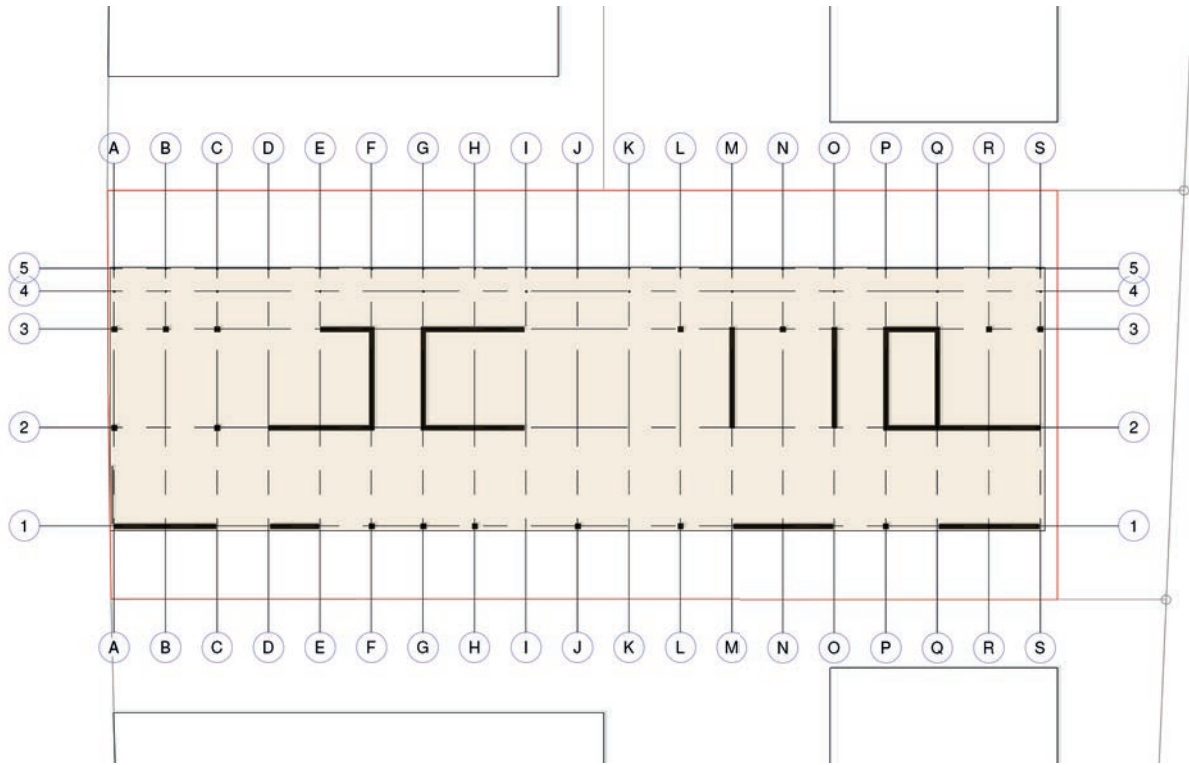
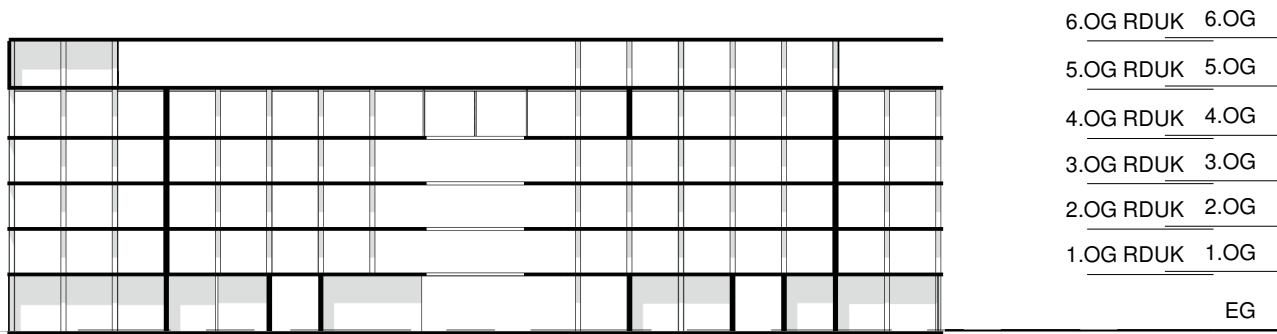


Abb. 84: Projekt B mit ALBIS 03:
 Grundriss EG 1:500



6.OG RDUK 6.OG
 5.OG RDUK 5.OG
 4.OG RDUK 4.OG
 3.OG RDUK 3.OG
 2.OG RDUK 2.OG
 1.OG RDUK 1.OG
 EG

Abb. 85: Projekt B mit ALBIS 03:
 Schnitt 1:500

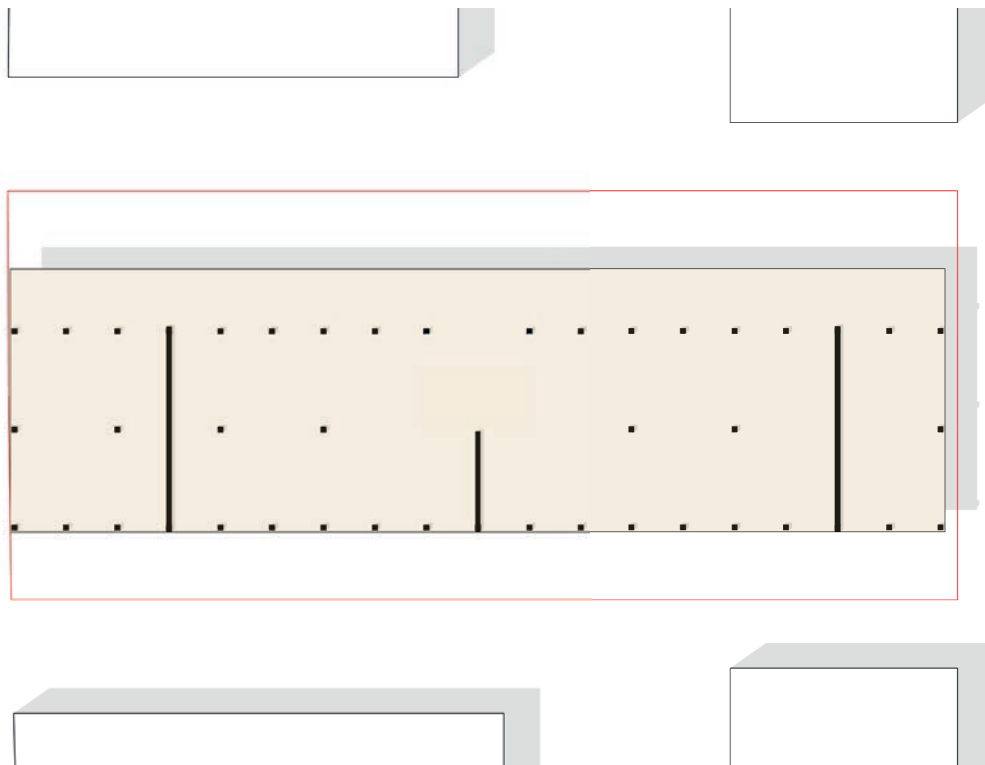


Abb. 86: Projekt B mit ALBIS 03:
Grundriss 3.OG 1:500

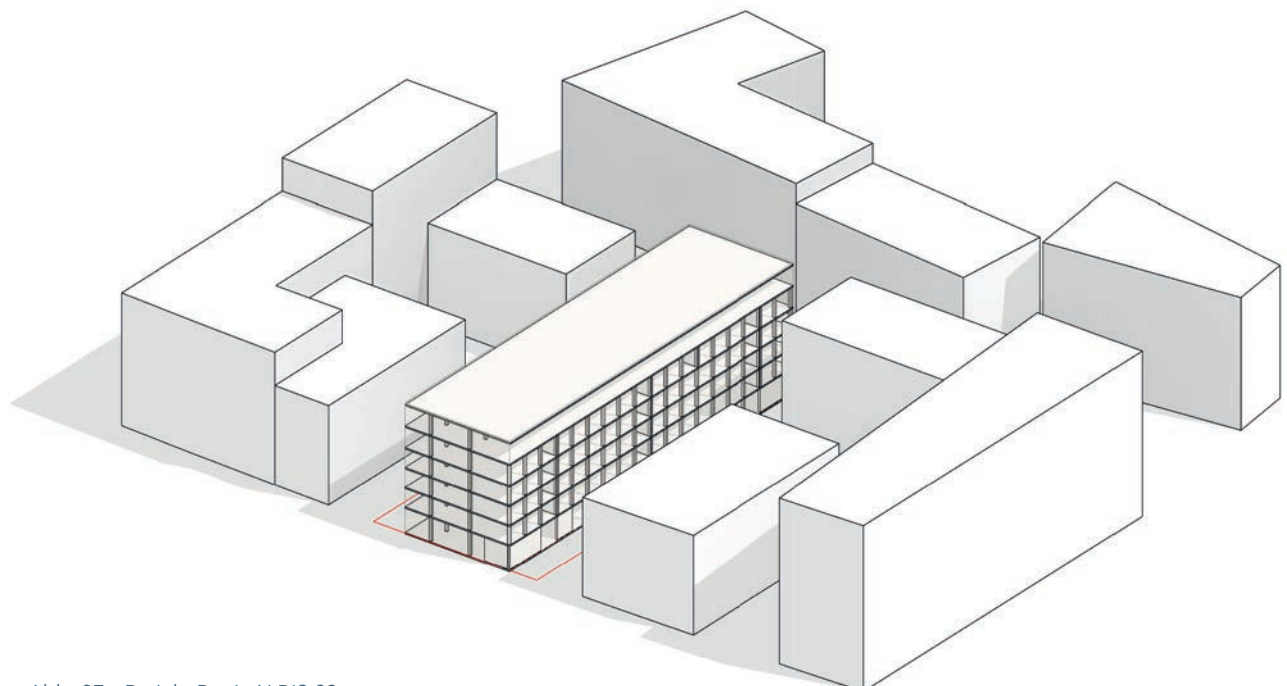


Abb. 87: Projekt B mit ALBIS 03:
Axonometrie Tragwerk

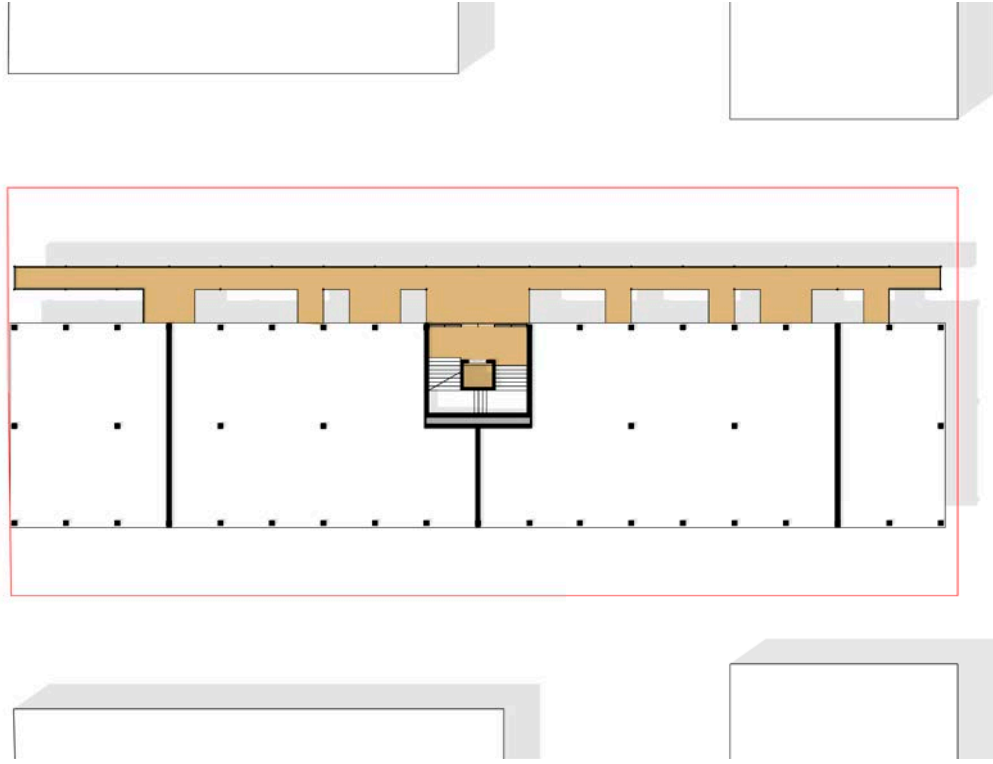


Abb. 88: Projekt B mit ALBIS 04:
Grundriss 3.OG 1:500

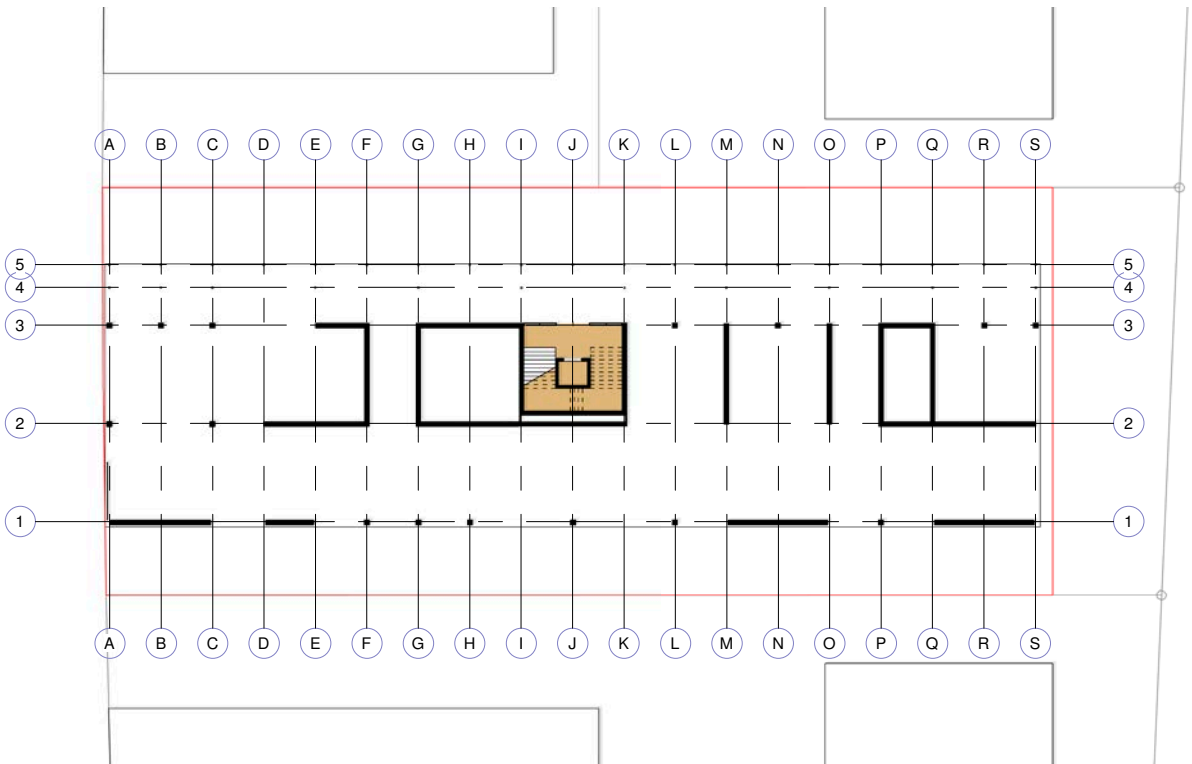


Abb. 89: Projekt B mit ALBIS 04:
Grundriss EG 1:500

4. Erschließung

In diesem Schritt werden die Erschließungsmodule gezeichnet und automatisiert platziert. Die sich scheinbar vom EG bis zum 5.OG wiederholenden Erschließungskerne müssen durch geringfügige Unterschiede in insgesamt vier Typen unterteilt werden. Unterschiedliche Geschosshöhen stellen dabei keine Schwierigkeiten dar, da die Wandelemente von der Rohdeckenoberkante (RDOK) der entsprechenden Ebene bis zur nächsten Rohdeckenunterkante (RDUK) verlaufen. Die Treppen-Elemente in Revit, die in die Kernmodule inkludiert wurden, haben durch unterschiedliche Geschosshöhen eine unterschiedliche Anzahl an Steigungen und können nicht algorithmisch angepasst werden. Somit sind für die sechs Kerne insgesamt vier Typen notwendig. Das Modul für die Laubengänge (bestehend aus Decke, Brüstung und Stützen) lässt sich jedoch problemlos auf jedes Geschoss anwenden. Gleichzeitig werden auch die Deckendurchbrüche eingetragen und im Modell generiert. Für Projekt B wird die Decke im Bereich des Laubengangs gekürzt und im Erschließungskern werden Durchbrüche für Treppe, Aufzug und den anschließenden Versorgungsschacht erzeugt (Abb. 88–91).

4 Parameter & Informationen:

- P 2 Erschließungsmodule (Kern und Laubengang) mit 3 Geschoss-Varianten
- 3 Deckendurchbrüche (Aufzug, Treppe, Schacht) mit 3 Geschoss-Varianten
- T Zeitaufwand: 45 min

Abb. 90: Projekt B mit ALBIS 04: Excel-Tabelle

Abb. 91: Projekt B mit ALBIS 04: Schnitt 1:500

04 Erschließungskerne			04 Deckendurchbrüche						
Trage für jeden Erschließungstypen eine Zeile ein. Der Name soll dabei dem Namen der Modellgruppe entsprechen.			Trage für jeden Durchbruch-Typen eine Zeile ein und gib die dazugehörigen Werte an.						
Erschließungskerne			Durchbrüche						
Name	Nullpunkt	Ebenen	Durchbruch-Name	Nullpunkt	Ebenen	Offset in X	Offset in Y	Länge (X)	Breite (Y)
E_RG	I2	1, 2, 3	Versorgungsschacht	I2	1, 2, 3, 4, 5	0	0,14	6,86	0,42
E_EG	I2	0	Aufzug und Treppe	I2	2, 3, 4	0,15	0,85	6,49	3,14
E_DG	I2	5	Aufzug und Treppe_01	I2	1	0,15	0,85	6,49	4,22
E_RG_04	I2	4	Aufzug und Treppe_04	I2	5	0,15	0,85	6,49	3,49
E_Laubengang	I3	1, 2, 3, 4	Laubengang	A3	1, 2, 3, 4, 5	-0,29	0,29	61,78	3,92



05 Wohnungsmix

Trage alle Wohnungstypen und ihre Spezifikationen ein. Anhand der verfügbaren Fläche werden die erforderliche Anzahl und Fläche errechnet.

m ² Verfügbar gesamt:		2570				
Typen	m ² min	m ² max	%Anteil	m ² -Anteil	Stück-Anteil	
					min	max
A	35	45	0	0	-	-
B	50	60	20	478	8	10
C	60	75	40	956	13	16
D	75	90	30	717	8	10
E	90	115	10	239	2	3

Anteil Smart:		7%				
Typen	m ² min	m ² max	%Anteil	m ² -Anteil	Stück-Anteil	
					min	max
Flex	35	35	100	180	5,14	5,14
	1	1	0	0	-	-
	1	1	0	0	-	-
	1	1	0	0	-	-
	1	1	0	0	-	-

Abb. 92: Projekt B mit ALBIS 05:
Excel-Tabelle Wohnungsmix

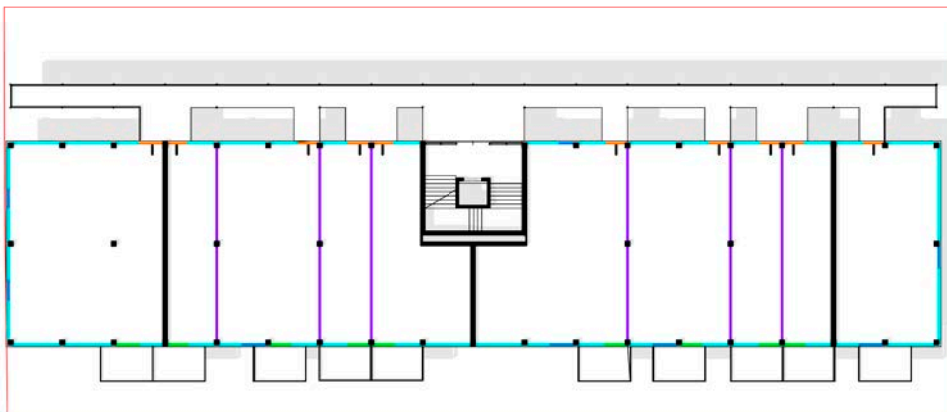


Abb. 93: Projekt B mit ALBIS 05: Linien-Module
Grundriss 3.OG 1:500

5. Wohnungen

Das Konzept von Projekt B sieht insgesamt fünf Wohnungstypen vor, die als durchgesteckte Geschosswohnungen vom Laubengang bis zur südöstlichen Fassade verlaufen. In ursprünglicher oder gespiegelter Form werden diese Wohnungstypen dann vom 1.OG bis zum 4.OG verteilt. Aus dem Grund, dass das entworfene Konzept bereits eine parametrisierbare Struktur vorgesehen hat, konnten die Wohnungen mit wenigen manuellen Eingaben algorithmisch generiert werden. In der Tabelle zum Wohnungsmix können die gewünschten Werte zuvor eingetragen werden um vor der Konzipierung der Wohnungsgrundrisse schon einen Anhaltspunkt über Anzahl und Fläche der benötigten Wohnungsgrößen zu erhalten (Abb. 92). Die Grundriss-Typen werden in einer 2D Liniengrafik gezeichnet (Abb. 93) und in der dafür vorgesehenen Liste eingetragen (Abb. 94). Die notwendigen Wand-, Fenster- und Türelemente werden dann an den vorgesehenen Positionen im Modell generiert und es werden Raumstempel in jedem Wohnungsgrundriss für die Auswertung platziert (Abb. 95–97).

Für die einzelnen Räume im EG und DG könnte theoretisch auf die gleiche Weise ein Typ angelegt und durch das Skript generiert werden. Da es sich hierbei um individuelle Räume handelt, die keine mehrfache Platzierung erfordern und nur je ein Mal im Modell vorkommen, werden diese Räume nachträglich manuell modelliert.

5 Parameter & Informationen:

P 5 Wohnungsmodule
 Wandtypen
 Fenstertypen
 Türtyp

T Zeitaufwand: 30min

Abb. 94: Projekt B mit ALBIS 05: Excel-Tabelle Wohnungsmodule

05 Wohnungsmodule					
Trage alle Wohnungsmodule und ihre Positionen sowie eventuelle Transformationen (Spiegeln, Drehung) ein.					
Wohnmodule					
Name	Nullpunkt	Drehung	Spiegeln	Ebenen	Anzahl
W_01	A1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_02	D1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_02	F1	0	Y	1	1
W_02	F1	0	0	1	1
W_02	H1	0	Y	2, 3	2
W_02	L1	0	0	1	1
W_02	N1	0	Y	1	1
W_02	N1	0	0	1	1
W_02	P1	0	Y	3	1
W_02	P1	0	0	3	1
W_03	G1	0	0	1, 4	2
W_03	M1	0	Y	2, 3, 4	3
W_04	J1	0	0	1	1
W_04	J1	0	Y	2, 3	2
W_05	E1	0	0	2, 3, 4	3
W_05	O1	0	0	1, 2, 4	3
W_06	Q1	0	0	1, 2, 3, 4	4
W_05	M1	0	0	2, 3, 4	3

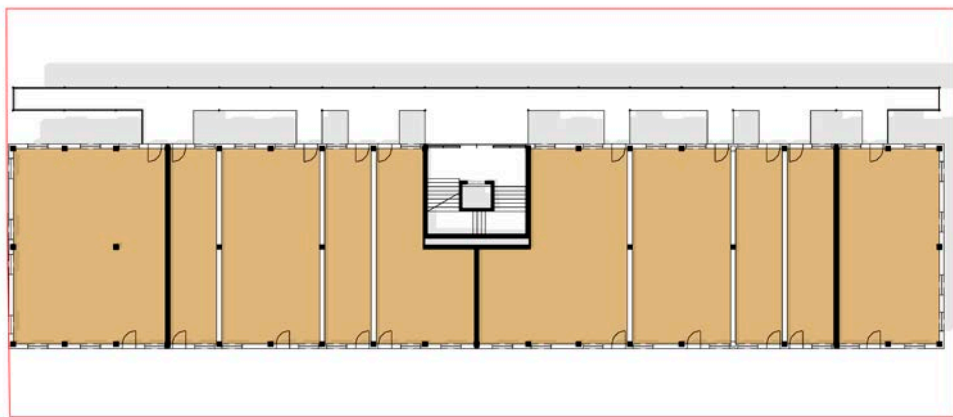


Abb. 95: Projekt B mit ALBIS 05:
Wohnungselemente Grundriss
3.OG 1:500

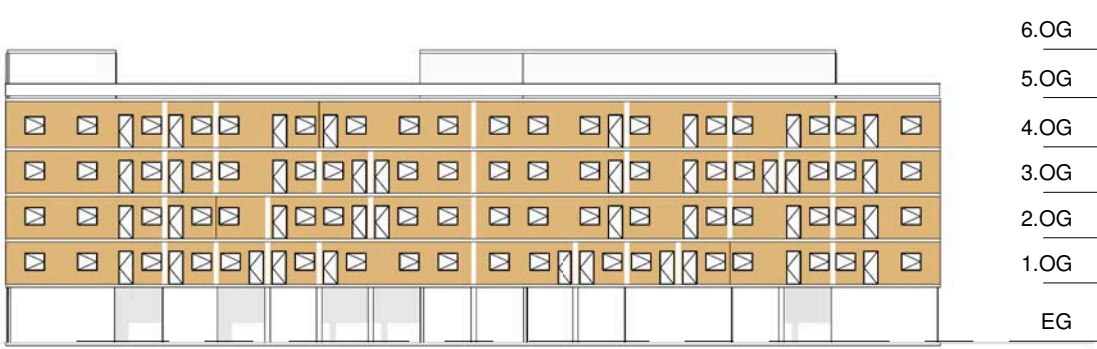


Abb. 96: Projekt B mit ALBIS 05:
Schnitt 1:500

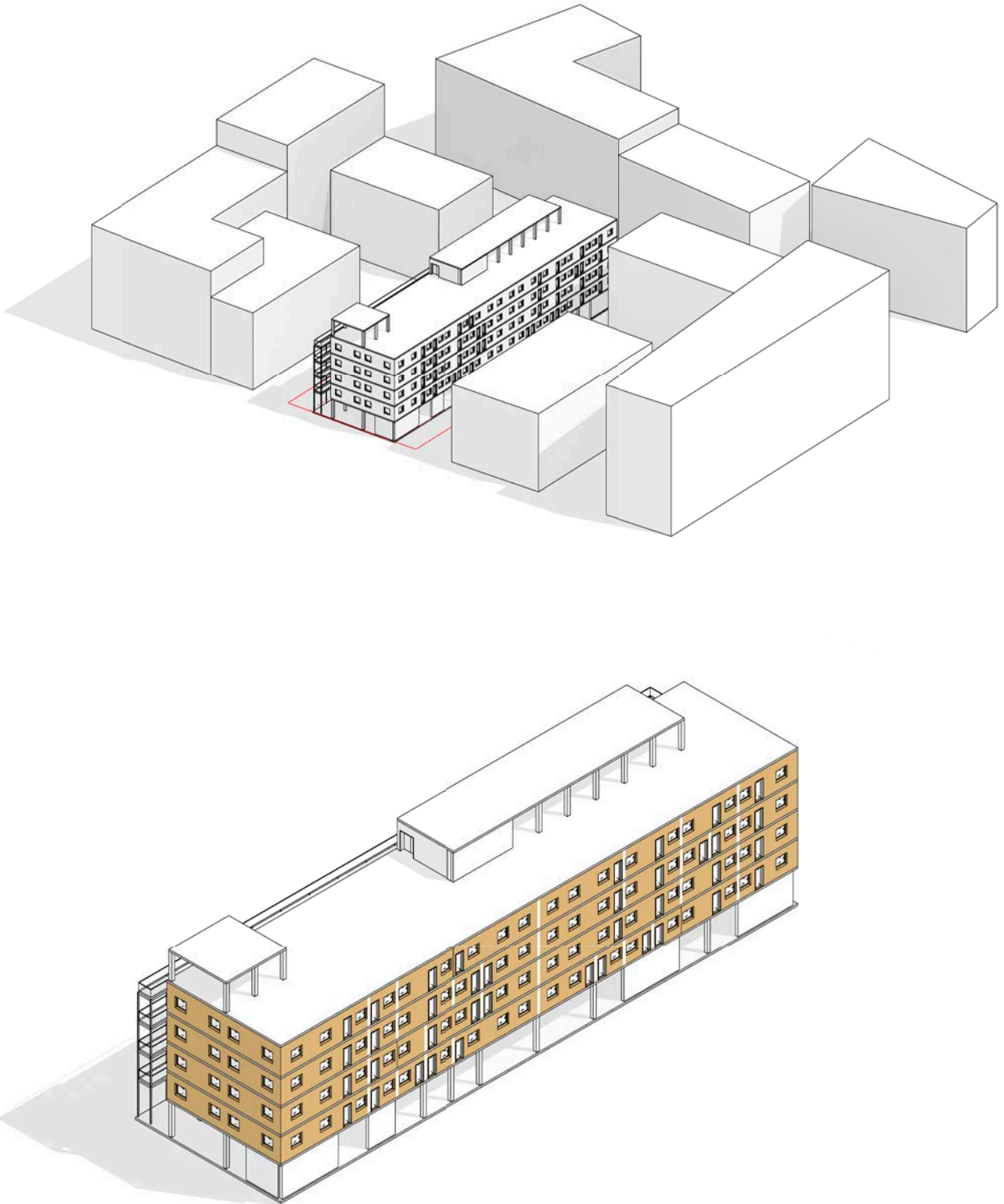


Abb. 97: Projekt B mit ALBIS 05: Axonometrien mit Wohnungselementen und Fassade

Abb. 98: Projekt B mit ALBIS 07: Dynamo Parameter Balkon

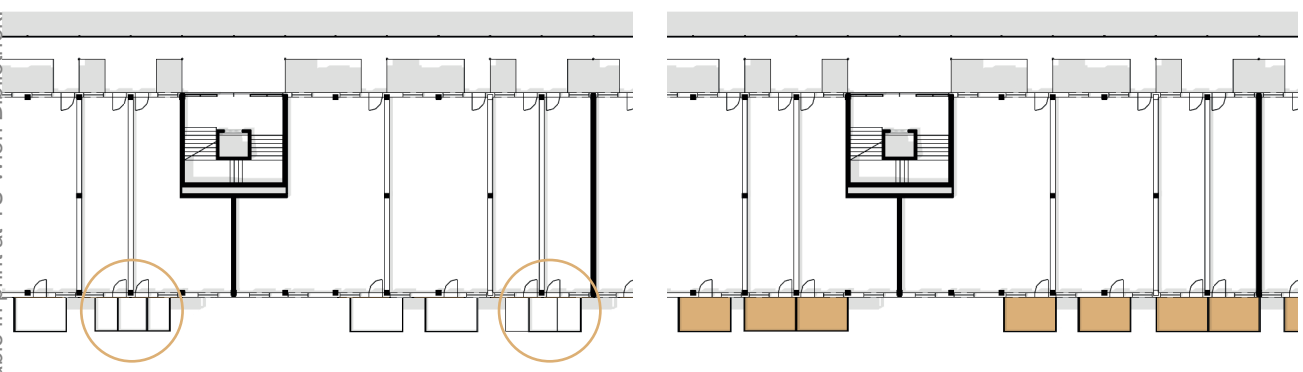
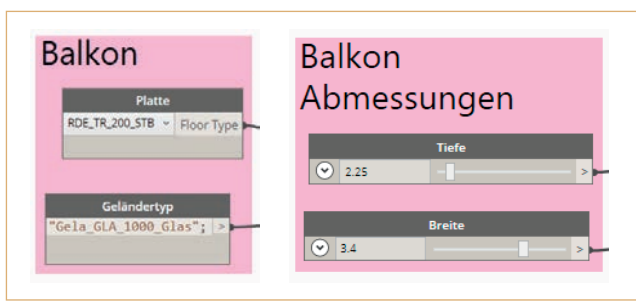


Abb. 99: Projekt B mit ALBIS 07: generierte Balkone und deren manuelle Verschiebung



Abb. 100: Projekt B mit ALBIS 07: Ansicht 1:500

6. Fassade

Der Großteil der Fassade wurde gleichzeitig mit den Wohnungen generiert. Alle zusätzlichen Fassadenelemente und Außenwände werden ebenso wie die individuellen Räume im EG und DG nachträglich manuell hinzugefügt. Diese Elemente sind aufgrund ihrer seltenen Wiederholung schneller manuell erstellt und würden durch das Skript über einen Umweg erstellt werden.

7. Freiräume

Die privaten Freiräume befinden sich bei Projekt B ausschließlich an der südöstlichen Fassade und haben für jede Wohnung dieselbe Dimension von 2,25m Tiefe und 3,4m Breite (Abb. 98). Durch ALBIS werden die einzelnen Balkone mittig zu den Fenstertüren positioniert, die in Schritt 5 bereits generiert wurden. Es gibt in ALBIS keinen Parameter um die Position in Abhängigkeit von einem angrenzenden Freiraum anzupassen. Deshalb wurden die Balkone zuerst generiert, wodurch alle notwendigen Elemente inklusive Raumstempel im Modell vorhanden sind. In einem zweiten Schritt werden die überlappenden Freiräume noch passend verschoben. Dieser Schritt erfolgt manuell (Abb. 99). Schließlich sind alle Balkon-Elemente an der Fassade richtig positioniert (Abb. 100–101).

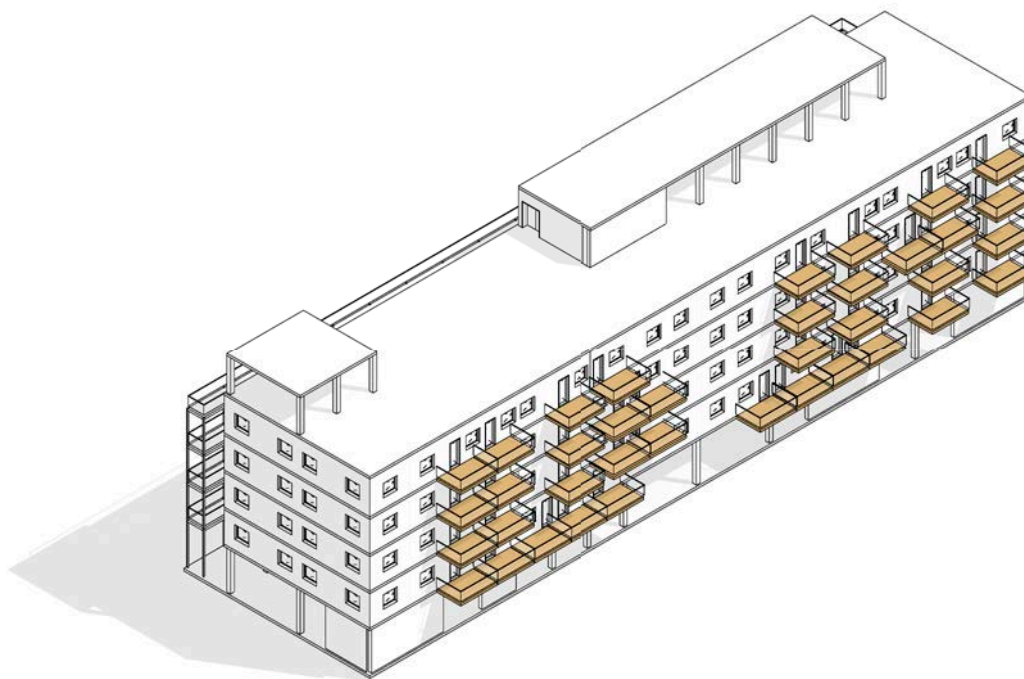


Abb. 101: Projekt B mit ALBIS 07: Axonometrie des generierten 3D-Modells

6 Parameter & Informationen:

P keine zusätzlichen Fassadenelemente generiert

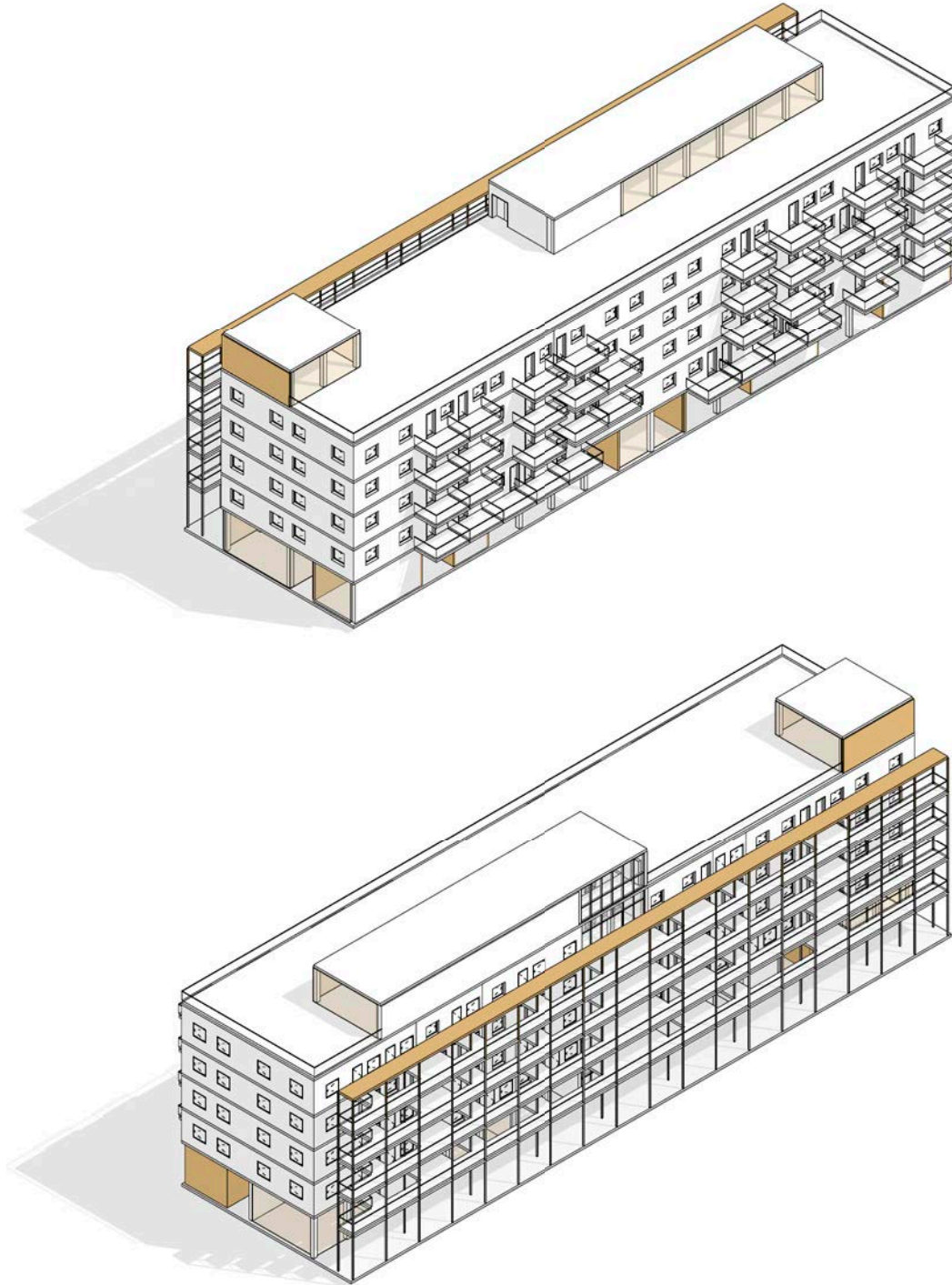
T Zeitaufwand: 0 min

7 Parameter & Informationen:

P Balkongröße
Geländer
Balkondecke

T Zeitaufwand: 10 min

Abb. 102: Projekt B mit ALBIS: Axonometrie des generiertes Modells inklusive manueller Ergänzungen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Manuelle Ergänzungen

Mit dem Abschluss des ersten Schritts von ALBIS ist das generierte Modell noch nicht komplett. Die zuvor erwähnten Elemente, die aufgrund ihrer einzelnen Vorkommnisse im Modell nicht generiert wurden, müssen in einem abschließenden Schritt noch ergänzt werden (Abb. 102–103). Nachfolgend sind alle Bauteile und Flächen aufgelistet, die noch ergänzt wurden:

M Manuelle Ergänzungen

T Zeitaufwand: 30 min

Erdgeschoss:

- Außenwände und Fassaden gewerblicher Räume
- Raumstempel aller Räume exklusive des generierten Erschließungskerns

5. Obergeschoss:

- Dachflächen
- Außenwände und Fassaden der Gemeinschaftsräume
- Raumstempel der Gemeinschaftsräume und der Dachterrasse
- Geländer der Dachterrasse

Zusätzlich zu den aufgezählten Elementen könnten noch entsprechend der Vorlage Wohnungsinnenwände, Wohnungsschächte und Dachabschlüsse (Attika) ergänzt werden. Diese Elemente sind für die Auswertung nicht notwendig und wurden ausgelassen.

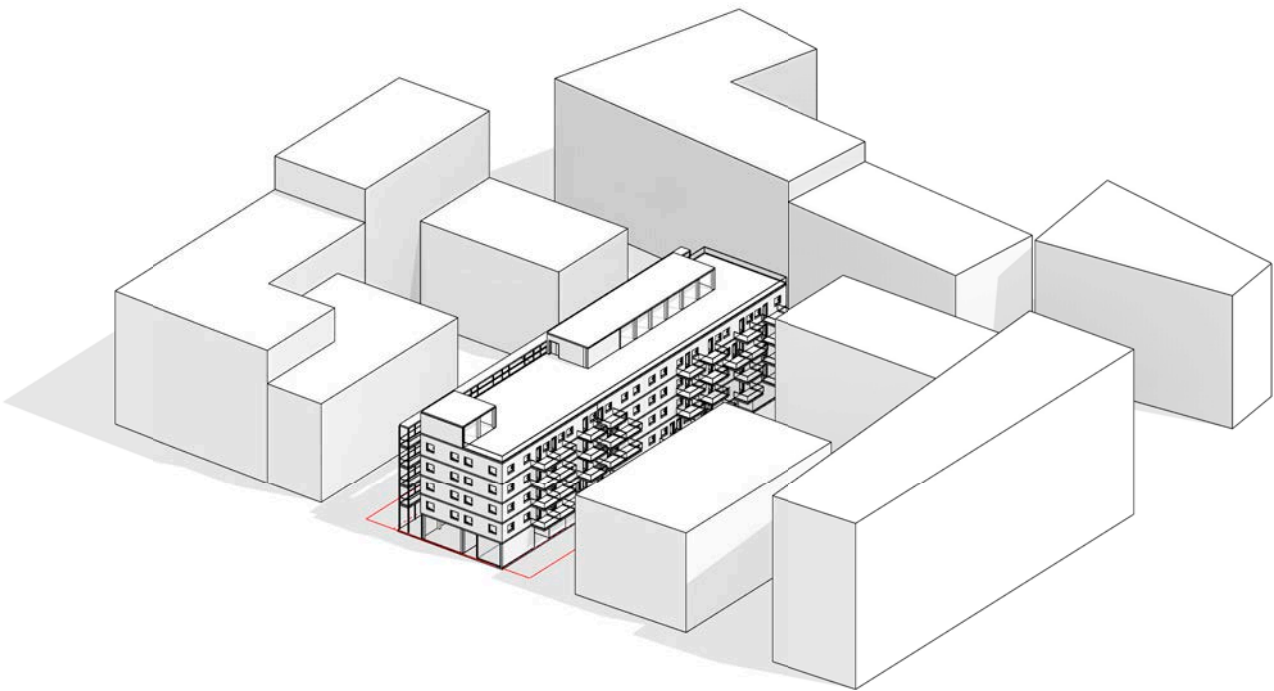


Abb. 103: Projekt B mit ALBIS:
Axonometrie des abgeschlossenen
Modells

5.3.3. Auswertung generieren

Um die Auswertung des erstellten Modells von Projekt B zu starten wird das Skript zur Auswertung (Anhang 7) ausgeführt. Dadurch werden wie im Fallbeispiel A die Flächenlisten der Bruttogeschossfläche und der Nettoflächen aus Revit sowie die Bauteillisten in Excel importiert und über die darin enthaltenen Formeln aufgegliedert.

Flächen

Die Flächenauswertung erfolgt größtenteils automatisiert. Wichtig dabei ist die vollständige Belegung aller Nettoflächen mit Raumstempeln in Revit. Da die KGF als Differenz von BGF und den eingetragenen Nettogrundflächen ermittelt wird, würden alle nicht erfassten Flächen der KGF zugeordnet werden. Aufgrund dieser Methode mussten alle Flächen, die nicht der NF, der FF oder der VF zugewiesen werden konnten, manuell von der BGF abgezogen werden. Das betrifft die Terrassenfläche im DG, die innerhalb des Revit-Körpers liegt,

Abb. 104: Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Flächen

Abb. 105: Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Energieeffizienz

Auswertung Flächen

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

BGF (m ²)	KGF (m ²)	VF (m ²)	FF (m ²)	Nutzfläche (NF)		WE	Freiraum
				HNF (m ²)	NNF (m ²)	Anzahl	Fläche (m ²)
5.365,44	648,03	1.405,88	17,88	2.948,18	345	38	1.405,88
100,00%	12,08%	26,20%	0,33%	61,39%			

Verhältnis	Wert	Punkte	Punkte Gesamt
WNF/BGF	0,61	6,14	5,9
VF/WNF	0,48	5,73	

BRI (m ³)
21.045,24

Auswertung Energie

Durch Eingabe des Heizwärmebedarfs errechnen sich die Energieklasse und die erreichten Punkte.

HWB (kWh/m ² .a)	Energieklasse	Punkte
12,00	A+	9

aber als Freifläche nicht zur Bruttogeschossfläche zählt. Außerdem müssen auch die Durchbrüche im Laubengang, die durch alle Geschosse gehen, abgezogen werden.

Nach den erfolgten Korrekturen der BGF ergibt das Verhältnis der HNF zur BGF 61% und das Verhältnis der VF zur HNF 48%. Somit ergibt sich eine Gesamtpunktzahl von 5,9 Punkten für die Flächenbewertung (Abb. 104).

Energie

Die Energiebewertung muss über ein externes Programm zur Erstellung eines Energieausweises erfolgen. Da dieser Prozess nicht Teil von ALBIS ist, wird für die Vollständigkeit ein fiktiver Wert von 12 kWh/m².a für den HWB angenommen. Dieser Wert entspricht der Energieklasse von A+ und ergibt eine Punktzahl von 9 Punkten (Abb. 105).

Flexibilität

Die Bewertung der Flexibilität von Projekt B wird über die vorgegebenen Fragen ermittelt (Abb. 106). Für die flexible Dimensionierung konnte die

Abb. 106: Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Flexibilität

Auswertung Flexibilität		
Angaben zur Flexibilität. Untenstehende Anforderungen sind mit Ja oder Nein zu beantworten.		
	Ja/Nein	Punkte
Dimensionierung		
Die statische Dimensionierung der Grundkonstruktion erlaubt Nutzungsänderungen	<input type="checkbox"/> Ja	10
Die Raumhöhe ist durchgehend mindestens 2,80m auf 15% der Nutzfläche	<input type="checkbox"/> Nein	5
Nicht tragende Elemente sind leicht austauschbar	<input type="checkbox"/> Ja	10
Erweiterbarkeit/Entkernbarkeit		
Nutzungseinheiten sind bzgl. der Grundrissgestaltung zusammenlegbar/trennbar	<input type="checkbox"/> Ja	5
Versorgungsschächte liegen an als fix betrachteten Wandbauteilen & besitzen Reserven für eine Erweiterung	<input type="checkbox"/> Ja	5
Erreichte Punkte	30	von 35
Punkte Flexibilität:	8,57	

Abb. 107: Projekt B mit ALBIS:
Auswertung der Kosten

Abb. 108: Projekt B mit ALBIS: Tabellen
der Kosten und Vorfertigungsgrade je
Element-Typ

Auswertung Kosten*

Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.

Bauteil	Kosten min.	Kosten max.	Kosten*	Bewertung
Wände gesamt	€ 445.679,62	€ 558.185,37	€ 501.932,50	5,00
Decken gesamt	€ 437.663,55	€ 475.721,25	€ 456.692,40	5,00
Stützen gesamt	€ 1.522,30	€ 2.112,20	€ 1.817,25	5,00
SUMME	€ 884.865,47	€ 1.036.018,82	€ 960.442,15	5,00

*) Alle berechneten Kosten sind fiktive Beträge, die aus Mittelwerten errechnet wurden und in keinem Zusammenhang mit dem tatsächlichen Projekt stehen.

Wände

Revit-Daten				Vorfertigung		Kosten					
Typ	Anzahl	Fläche	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt	Kostengruppe	min	Ø	max	Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
AW_NTr_303_HOL	275	1.181	357,85	70	250,50	331.33.03	€ 140	€ 151	€ 163	151,18	€ 178.543,72
FA_NTr_3L_GLA	21	523	0,00	100	-	-	-	-	-	-	€ -
SW_NTr_87_5_GK	12	16	1,36	80	1,09	342.62.01	€ 45	€ 55	€ 65	54,87	€ 854,25
SW_Tr_260_STB	6	129	35,37	50	17,69	341.24.01	€ 82	€ 93	€ 103	92,50	€ 11.895,50
SW_Tr_285_STB	6	123	35,08	50	17,54	341.24.01	€ 82	€ 93	€ 103	92,50	€ 11.384,90
TW_NTr_328_GK+WD	28	1.077	353,28	0	-	342.62.02	€ 90	€ 105	€ 120	105,00	€ 113.093,40
TW_Tr_200_STB	39	399	79,88	0	-	341.21.04	€ 116	€ 131	€ 145	130,50	€ 52.123,01
TW_Tr_305_STB	13	271	82,80	0	-	341.21.05	€ 137	€ 158	€ 179	158,00	€ 42.895,42
TW_Tr_310_STB	24	577	178,82	0	-	341.21.05	€ 137	€ 158	€ 179	158,00	€ 91.142,30
											€ -

Decken

Revit-Daten				Vorfertigung		Kosten					
Typ	Anzahl	Fläche	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt	Kostengruppe	min	Ø	max	Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
RDE_Tr_200_STB	51	6.343	1.268,59	60	761,15	351.25.03	€ 69	€ 72	€ 75	72,00	€ 456.692,40
											€ -
											€ -
											€ -
											€ -

Stützen

Revit-Daten				Vorfertigung		Kosten					
Typ	Anzahl	Länge	Volumen	Vorfertigungsgrad (%)	Volumen vorgefertigt	Kostengruppe	min	Ø	max	Gesetzter EHP*	Gesamtkosten*
100x100	120	3	0,28	100	0,28	333.41.01	€ 58	€ 60	€ 62	60,00	€ 180,00
100x100	30	4	0,09	100	0,09	333.41.01	€ 58	€ 60	€ 62	60,00	€ 231,00
345 x 345	134	3	42,89	100	42,89	343.21.04	€ 90	€ 113	€ 135	112,50	€ 315,00
345 x 345	18	3	5,25	100	5,25	343.21.04	€ 90	€ 113	€ 135	112,50	€ 336,38
345 x 345	45	3	15,75	100	15,75	343.21.04	€ 90	€ 113	€ 135	112,50	€ 344,25
345 x 345	15	4	6,52	100	6,52	343.21.04	€ 90	€ 113	€ 135	112,50	€ 410,63
											€ -
											€ -

*) Alle berechneten Kosten sind fiktive Beträge, die aus Mittelwerten errechnet wurden und in keinem Zusammenhang mit dem tatsächlichen Projekt stehen.

durchgehende Raumhöhe von 2,80m in 15% der Fläche nicht erreicht werden. Die Geschosshöhe liegt bei 3m, der geplante Deckenaufbau verringert diesen Wert jedoch um mehr als 20cm. Das Erdgeschoss erfüllt die geforderte Raumhöhe, nimmt aber nicht 15% der Gesamtfläche ein, da ein Großteil der Fläche Verkehrsfläche und keine Nutzfläche ist.

Kosten

Zur Bewertung der Kosten wurden alle erstellten Decken, Wände und Stützen automatisiert in Excel-Listen importiert. Über Eingabefelder sind die Kostengruppe und der erwartete Kostenbereich (min., max.) exemplarisch aus dem BKI 2019 entnommen worden. Der „gesetzte EHP“ würde über Schätzungen oder bereits vorliegende Kennwerte erfolgen. In diesem Fall wurden jene Werte angenommen, die dem Mittelwert der Elementkosten aus dem BKI entsprechen. Daher ergibt sich, genauso wie in der Fallstudie A, eine neutrale Bewertung von 5 Punkten (Abb. 107–108).

Vorfertigung

Der Vorfertigungsgrad wird über dieselbe Tabelle der Bauteile ausgelesen. Dazu wurden die Grade der Vorfertigung der einzelnen Bauteile zuvor in Revit eingetragen. Es kann jedem Elementtyp ein eigener Wert zugewiesen werden. Für Projekt B wurden, ausgehend vom

Abb. 109: Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Vorfertigung

Auswertung Vorfertigung			
Die Werte der Tabelle werden anhand der Informationen aus dem Modell berechnet und hier ausgegeben.			
Bauteiltyp	Volumen	Anteil vorgefertigt	Anteil in %
Wände	1.124,44	761,15	68%
Decken	1.268,59	761,15	60%
Stützen	70,78	70,78	100%
Gesamt	2.463,81	1.593,09	65%
		Punkte:	6,47

Entwurfskonzept, Annahmen dazu getroffen, die dem Aufbau entsprechen. Geschosdecken werden als Halbfertigteilplatten mit 60% Vorfertigung angenommen. Alle Stützen sind als Fertigteile gedacht und die Wände erhalten je nach Material und Dimension einen Wert von 0 bis 100%. In der Übersicht zum Vorfertigungsgrad ergibt sich daraus ein Gesamtwert von 6,47 Punkten (Abb. 109).

Gesamtbewertung

Für die Gesamtbewertung wird schließlich eine Gewichtung der einzelnen Kriterien vorgenommen. Sowohl die Energiebewertung als auch die Kostenbewertung erhalten einen geringeren Anteil, da die Informationen, die zur Bewertung eingegeben wurden, weniger Aussagekraft besitzen. Die Flächeneffizienz, die Flexibilität und der Vorfertigungsgrad des Projekts sollten in diesem Stadium des Entwurfs entscheidende Faktoren sein. Es wird daher dieselbe Gewichtung wie in Fallstudie A vorgegeben (Abb. 110).

Mit einer Gesamtwertung von 7,0 Punkten konnte dieses Projekt demnach abschließend beurteilt werden. Um das Resultat zu verbessern, könnten die Parameter angepasst werden, die ein neues Ergebnis hervorrufen.

Abb. 110: Projekt B mit ALBIS: Gesamtbewertung

Auswertung Gesamt

Gib die Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien an. Die Punkte werden aus den einzelnen Bewertungsverfahren der jeweiligen Kriterien übertragen.

Kriterien	Gewichtung (%)	Punkte	Punkte gewichtet	Gesamt
Flächen	35%	5,94	2,08	7,0 von 10
Energie	5%	9,00	0,45	
Kosten	5%	5,00	0,25	
Flexibilität	30%	8,57	2,57	
Vorfertigung	25%	6,47	1,62	
	100%			

5.4. Ergebnis

Durch die Generierung der beiden Projekte und der Auswertung mit ALBIS konnten mehrere Erkenntnisse gewonnen werden. In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der Fallstudien zusammengefasst und miteinander verglichen werden. Der Schritt der Modellierung konnte mit einigen manuellen Ergänzungen durchgeführt werden.

5.4.1. Vergleich der Modellierung

Als verkürztes Resümee kann postuliert werden, dass die Modellierung beider Projekte mit ALBIS durchgeführt werden kann. Die Herangehensweise des Skripts funktioniert und durch die Unterteilung in seine einzelnen Bestandteile lässt sich ein Wohnbau modular generieren. Mit ALBIS wurde eine Werkzeugkette erschaffen, die einen algorithmischen Designprozess in einen manuellen Entwurfsprozess integriert. Die Durchführung an den Projekten hat gezeigt, dass dies möglich ist. Inwiefern dadurch eine Optimierung der Projekte und des Entwurfsprozesses erfolgt, sollen die folgenden Ergebnisse erläutern.

Zeitaufwand

Bei der Erstellung beider Modelle wurde während jedes Teilschritts die Zeit gemessen, die benötigt wurde, um von der Eingabe der Parameter zum Beenden des jeweiligen Teilschritts zu gelangen (Abb. 111). Die gemessene Zeit anhand dieser zwei ähnlichen Projekte soll keinen repräsentativen Wert für ALBIS im Allgemeinen darstellen, zeigt aber eine Tendenz auf. Erwartungsgemäß sind jene Bestandteile der Wohnbauten, die den größten Anteil an Elementen besitzen (die Erschließung und die Wohnungen) mit dem größten Zeitaufwand verbunden. Diese beanspruchten gemeinsam über 40% der Zeit. Gleichzeitig sind diese Bereiche auch die Hauptelemente, die im generativen Skript erzeugt werden. Mit ALBIS wird ein algorithmischer Entwurfsprozess angestrebt, der Arbeitsschritte automatisiert und dennoch möglichst vielfältige Entwurfsformen zulässt. Aus diesem Grund bleiben gewisse manuelle Schritte, wie das Erstellen der Erschließungsmodule oder der Entwurf der Linien-Grundrisse, erhalten. Je häufiger diese Elemente in wiederholter Form eingesetzt werden können, desto positiver wirkt sich dies auf den Zeitaufwand aus. Mit dem Projekt B konnten die Schritte insgesamt in kürzerer Zeit durchlaufen werden. Dafür verantwortlich sind das regelmäßiger Raster des Projekts und die darin untergeordneten Elemente, die sich genau an diesem Raster anordnen lassen. Außerdem wurde bei Projekt A anfangs vermutlich ebenfalls von einem regelmäßigeren Raster ausgegangen, das aber im Verlauf der Planung bereits Adaptierungen in der Struktur des Rasters und der Grundrisse erfuhr, um die Spannweiten und Grundriss-Konfigurationen an

Abb. 111: Zeitaufwand mit ALBIS

Zeitaufwand der Modellierung mit ALBIS					
<small>Die gemessene Zeit von der ersten Eingabe eines Parameters bis zum Abschluss des jeweiligen Teilschritts. Angaben in Stunden und Minuten.</small>					
Abschnitt	Gleis 21		EWA		Differenz
	Zeitaufwand	Anteil in %	Zeitaufwand	Anteil in %	
01 Arbeitsumgebung	00:10	5%	00:10	6%	00:00
02 Grundgerüst	00:15	7%	00:15	9%	00:00
03 Konstruktion	00:40	18%	00:25	15%	00:15
04 Erschließung	00:55	25%	00:45	27%	00:10
05 Wohnungen	00:40	18%	00:30	18%	00:10
06 Fassade	00:00	0%	00:00	0%	00:00
07 Freiraum	00:30	14%	00:10	6%	00:20
Manuelle Anpassungen	00:30	14%	00:30	18%	00:00
Gesamt	03:40	100%	02:45	100%	00:55

einzelnen Stellen im Projekt zu optimieren. Diese individuellen Adaptierungen bedeuten auch in ALBIS einen zusätzlichen Aufwand, der beim weiteren Fortschritt von Projekt B womöglich ebenfalls eingetreten wäre. Die erstmalige Generierung beider Projekte inklusive manueller Ergänzungen in einem Zeitraum von etwa 3 Stunden und 40 Minuten beziehungsweise 2 Stunden und 45 Minuten zeigt trotzdem einen effizienten Zeitablauf für ein Projekt dieser Größenordnung.

Generierte und manuelle Elemente

Mit der Erstellung von ALBIS ging ein laufender Prozess der Abwägung zwischen einer algorithmischen Generierung von Elementen gegenüber einer manuellen Erstellung dieser Elemente in Revit einher. Dabei soll eine Optimierung im Entwurfsverlauf durch algorithmische Funktionen keine Einschränkung in den Entwurfsmöglichkeiten bilden. Aus diesem Grund wurden Teile des Skripts mit einer manuellen Erstellung von Elementen kombiniert. Die Wohnungs- und Erschließungsmodule sind solche Bestandteile, die in einer Kombination aus algorithmischem und manuellem Modellieren entstehen. Bei Projekt A stehen sechs Wohnungstypen einer Anzahl von 36 Wohnungen gegenüber. Für die Erschließung wurden drei Typen geschaffen, die zehn Instanzen im Modell erzeugen. Das entspricht einem Verhältnis von 1:6 und 1:3. Im Projekt B entsteht ein ähnliches Verhältnis mit sechs Wohnungstypen zu 38 Wohneinheiten sowie zwei Erschließungs-Typen

mit zehn resultierenden Instanzen. Eine Steigerung des Verhältnisses würde damit auch eine Steigerung der Effizienz im generativen Prozess bedeuten.

Außerdem zeigen die Fallbeispiele, dass es Bereiche im Gebäude gibt, die nicht durch ALBIS abgedeckt werden. Dazu zählen die individuellen Grundrisse im Erdgeschoss und Dachgeschoss sowie das Untergeschoss. Aufgrund der unterschiedlichen zusätzlichen Funktionen im Projekt, die abseits der Kernstruktur der Wohnungen und deren Erschließungen erfüllt werden sollen, kann und soll dafür auch kein algorithmisches Prozedere integriert werden. Für die Auswertung – insbesondere von Flächen- und Kostenbewertung – sind diese Gebäudeteile trotzdem essenziell. Daher ist es notwendig diese im Modell zu ergänzen. Der Anteil an manuell erstellten Elementen eines Projekts sollte nicht zu groß sein und dadurch ein algorithmisches Entwurfswerkzeug obsolet machen. Das entspricht aber auch nicht der Idee eines modularen Wohnbaus. Die Optimierung des Entwurfsprozesses durch ein Werkzeug wie ALBIS ergibt sich nur, wenn im Konzept des Entwurfs selbst eine modulare Struktur vorgesehen wird, die das Projekt zu einem Großteil ausmacht und bei der eine Automatisierung erfolgen kann.

5.4.2. Vergleich der Auswertung

Genauso wie die Modellierung der beiden Projekte die Möglichkeiten von ALBIS bei der Generierung eines BIM-Modells aufzeigt, bringt auch die Bewertung mit ALBIS verschiedene Gesichtspunkte zum Vorschein. Die Bewertung nach den fünf gewichteten Kriterien ergibt für Projekt A 7,7 Punkte und für Projekt B eine Gesamtpunktezahl von 7,0. Der Unterschied ist vor allem auf den Vorfertigungsgrad, die Flächeneffizienz und die Flexibilität zurückzuführen. Bei der Energiebewertung wurde derselbe Kennwert angegeben, da keine externe Berechnung des HWB erfolgt ist. Die Kostenbewertung ergibt durch die Angabe des Mittelwerts eine neutrale Bewertung von 5 Punkten in beiden Projekten. Trotzdem gibt es hier Unterschiede zwischen Projekt A und Projekt B. Die Gesamtbewertung dient als grober Richtwert für die Leistung des Projekts. Um dieses dann optimieren zu können, sollte die Berechnung dieser Kriterien im Detail untersucht werden, um Potentiale zu erkennen.

Kosten und Vorfertigung

Die Bewertung der Kosten scheint durch die Eingabe der Mittelwerte der Referenzkosten wenig aussagekräftig zu sein. Bei näherer Betrachtung der Berechnungs-Tabellen lassen sich bei den Kosten und Volumen klare Unterschiede erkennen. Die geschätzten Elementkosten der Wände, Decken und Stützen ergeben gemeinsam eine Differenz von 13 %, die bei Projekt A

gegenüber Projekt B eingespart werden würden. Da die Gesamtbewertung unabhängig von der Größe und damit von den Gesamtkosten der bewerteten Projekte funktionieren soll, fließt nur das Verhältnis der Kosten zu den maximalen und minimalen Referenzkosten in diese Bewertung ein. Für einen Vergleich von Varianten desselben Projekts durch ALBIS muss den Summen der Kosten zusätzliche Beachtung geschenkt werden. Ähnlich verhält es sich bei der Vorfertigung. Im Vergleich der beiden Projekte ist bereits ein Unterschied in der Gesamtbewertung sichtbar, da bei Projekt B ein geringerer Anteil der Vorfertigung bei den Wandelementen angenommen wird als bei Projekt A (60% gegenüber 83% Vorfertigungsgrad). Zusätzlich ist jedoch auch das berechnete Volumen auffällig. Während die Stützen-Elemente ähnliche Gesamtvolumina ergeben, liegt bei den Wänden eine Differenz von ca. 300 m³ vor. Dieser Unterschied entsteht durch mehr (19 zusätzliche) Wandelemente, die im Entwurf von Projekt B notwendig sind. Zu beachten gilt, dass im Modell noch keine Wohnungsinnenwände vorhanden sind.

Flächenbewertung

Bei der Flächenberechnung kann bereits in der Gesamtwertung ein Unterschied wahrgenommen werden. Bei der Analyse beider Bewertungstabellen der Flächen wird sichtbar, dass die Flächenausnutzung der BGF im Projekt B etwas effizienter ausfällt. Das Verhältnis der Nutzfläche zur Verkehrsfläche ist jedoch im Entwurf von Projekt A günstiger umgesetzt worden. Die beiden Kennwerte geben einen ersten Überblick über die Flächenausnutzung. Zusätzlich bietet die errechnete Konstruktionsgrundfläche einen Hinweis darauf, wie wirtschaftlich die Ausnutzung der Fläche durch die verbauten Elemente ausfallen kann. Die Nutzfläche wird durch weitere Trennwände reduziert, wodurch sich das Verhältnis im Verlauf des Entwurfs vermutlich weiter verschlechtern wird.

Der Projektvergleich mit dem Auswertungssystem von ALBIS deutet mit der Punktwertung eine Präferenz zu Projekt A an. Die Differenzen der beiden Projekte können aus den offengelegten Ergebnissen und den damit verbundenen Kennwerten nachvollzogen werden. Auf diese Weise stehen die Erkenntnisse für weitere Planungsentscheidungen zur Verfügung und der gesamte algorithmische Prozess oder einzelne Teilschritte davon können mit optimierten Parametern erneut durchlaufen werden.

5.4.3. Reflexion

Im Laufe des generativen Prozesses konnten in vielen Schritten Potentiale zur Optimierung von ALBIS identifiziert werden. Das im Zuge dieser Arbeit erschaffene Skript stellt ein Kerngerüst dar, das den Entwurfsprozess eines modularen Wohnbaus unterstützt und mit jeder Anwendung um zusätzliche algorithmische Funktionen erweitert werden kann.

Eingabe und Ausgabe der Parameter

Excel wurde als Benutzeroberfläche gewählt, um Parameter einzugeben und die Bewertungen auszulesen. Als verbreitetes Kalkulationstool, das auch einfache grafische Anpassungen erlaubt, bietet Excel eine gute Grundlage. Im Sinne der Benutzerfreundlichkeit wäre eine programmierte Eingabemaske, die alle nötigen Eingabefelder und Datenausgaben beinhaltet und gleichzeitig die Berechnungen im Hintergrund durchführt, besser geeignet. Die Gefahr, Formeln oder Tabellen zu überschreiben, sowohl durch den Anwender als auch durch einen Fehler im Skript, könnte dadurch vermieden werden. Weiters ist das Eingeben der Rasterpunkte in einer Tabelle, um die Positionen einzelner Module festzulegen, nicht sehr intuitiv. Die Angabe der Positionen am Raster über eine grafische Darstellung dessen wäre übersichtlicher und würde unmittelbar ersichtlich machen in welchen Bereichen Überschneidungen oder Lücken entstehen. Mit ALBIS ist diese Überprüfung genauso möglich, verläuft jedoch in zwei getrennten Programmen. Die genutzte Konfiguration der drei Programme dient dabei eher einer übersichtlichen Unterteilung der algorithmischen Abläufe als der Benutzerfreundlichkeit. Da der Ablauf des Skripts vorrangig behandelt wurde, ist die Gliederung in drei Programme auf Kosten der Usability gerechtfertigt.

Shape Grammars

Die möglichen Grundformen, die mit ALBIS generiert werden können, beschränken sich auf quader- und würfelförmige Volumina. Wie bei der Erstellung von ALBIS bereits erwähnt wurde, kann das Konzept auf verschiedene Grundformen übertragen werden. Anstelle des Quaders als Grundkörper ließen sich dann auch andere Grundformen generieren. Dank der Programmstruktur von Revit können die Körper mit den nötigen Parametern zur Anpassung der Form versehen und über ein Skript transformiert werden. Neue Grundformen würden auch neue Rasterformen implizieren, die entsprechend ergänzt werden müssten. Sämtliche Prozesse im Skript, die von der Form des Körpers abhängig sind, würden erweitert werden, um den gleichen Prozess durchlaufen zu können. Diese sogenannten Figur-Grammatiken (shape grammars) würden einen umfangreicheren Einsatz von ALBIS ermöglichen und die Gestaltungsoptionen für den Entwurfsprozess erhöhen.

Erkenntnisse durch die vergleichende Fallstudie

Die Fallstudie anhand zweier Projekte ermöglicht einen Einblick in die Möglichkeiten eines Algorithm-Aided BIM Skripts im Entwurfsprozess. Bei der Anwendung des Skripts ALBIS an Projekt A und B wurden unterschiedliche Vor- und Nachteile sichtbar. In Abbildung 112 werden diese thematisch aufgelistet und nach dem jeweiligen Projekt gegliedert. Die erste Spalte (Allgemein) enthält jene Merkmale, die an beiden Projekten erkannt werden konnten. Neben den positiven (+) und negativen (-) Aspekten des Prozesses zeichneten sich vereinzelt auch neutrale (o) Eigenschaften ab, die durch die Struktur von ALBIS entstanden. Diese Punkte konnten über alternative Wege gelöst werden und beeinflussen den Entwurfsprozess nicht negativ. Trotz der aufgelisteten Umstände konnte ein Großteil des Projekts algorithmisch generiert werden. Die manuellen Ergänzungen beschränkten sich dabei vorwiegend auf die individuellen Geschosse (EG und DG). Die Wohngeschosse sowie die Elemente der Erschließung konnten vollständig algorithmisch generiert werden. Ein erhöhtes Maß an Repetition von Elementen und Modulen ermöglicht einen umso größeren generativen Anteil im Projekt. In der Fallstudie B konnte der Entwurf durch seine konsequent am Raster ausgerichtete Struktur und eine höhere Anzahl an gleichen Elementen zu einem größeren Anteil generiert werden. Weiters stellte die Gliederung der Elemente nach den Bestandteilen des Wohnbaus einen klaren Vorteil bei der Erzeugung des Modells dar. Durch die Reihenfolge der Unterteilung wird der Fokus zunächst auf die statischen Elemente der Konstruktion gerichtet und nachträglich durch flexiblere Elemente ergänzt.

Insgesamt konnte in beiden Fallstudien ein vollständiges BIM-Modell erzeugt werden, das durch die exakte algorithmische Positionierung der einzelnen Elemente keine falschen Überschneidungen von Bauteilen im Gebäudemodell verursachte. Nur einzelne Balkon-Module mussten in Projekt B nachträglich verschoben werden. Durch die richtige Modellierung der Bauteile sind auch alle Bauteil- und Flächenlisten korrekt und automatisiert in die Auswertung eingeflossen. Eine Korrektur der Flächen wurde aufgrund der Dachterrasse, die sich innerhalb des Revit-Volumens befindet, jedoch nicht Teil der BGF sein soll, notwendig.

Der algorithmische Entwurfsprozess ermöglichte in beiden Fallstudien eine strukturierte Modellbildung. Durch die Gliederung in Teilschritte können auch einzelne Elemente (insbesondere die Erschließung, Wohnungen und Freiräume) gegenübergestellt werden. Durch die Anwendung von ALBIS wurde offensichtlich, dass der gesamte Prozess vom Grundgerüst, bestehend aus Ebenen und Raster, abhängig ist. Die Abstände darin richtig zu wählen ist daher eine der wichtigen Entscheidungen im algorithmischen Prozess und in der frühen Planungsphase.

Allgemein

Projekt A

Projekt B

Software-Workflow

- + Strukturierter Skript-Ablauf
- + Nutzung der Vorteile der einzelnen Programme
- Eingabe der Bauteiltypen nur in Dynamo (statt Excel)
- Prozess über mehrere Programme
- erhöhtes Risiko für Fehler bei der Anwendung durch offene Struktur

- Eingabe der Modul-Positionen am Raster ohne direkte grafische Darstellung

- Unübersichtliche Eintragung der Wohnmodule von gedrehten und gespiegelten Varianten

Generieren der Elemente

- + Raster, Ebenen, Wände, Stützen, Decken, Durchbrüche, Fenster, Türen und Flächen generierbar
- + Vielfältige Gestaltungsoptionen durch Modul-Gruppen
- Treppen-Elemente nicht automatisiert generierbar

- o Unterschiedliche Raster der tragenden und nicht-tragenden Elemente
- Zusätzliche Modul-Variante der Erschließung im EG
- kleinste Unterschiede erfordern einen komplett eigenen Modul-Typ
- Manuelle Ergänzung von individuellen Elementen
- Manuelle Ergänzung von einzelnen fehlenden Flächen

- Zusätzliche Modul-Variante der Erschließung in EG und DG
- Manuelle Ergänzung von individuellen Elementen
- Manuelle Ergänzung von einzelnen fehlenden Flächen
- Manuelle Ergänzung von Flächenbegrenzungen

algorithmisch erzeugter Anteil

-

70%

80%

Gliederung nach den Bestandteilen des Wohnbaus

- + Getrennte schrittweise Generierung der Bestandteile erfolgreich

- o Zuordnung nach Konstruktion oder Erschließung (bei Kernen) unbestimmt

-

Qualität des generierten BIM-Modells

- + Generierte Elemente an exakter Position

- Orientierung der Türen und Fenster (innen/außen) nicht immer richtig

- Überlappende Balkon-Module

Qualität der Auswertung

- + Automatisierte Übertragung der Informationen aus BIM-Modell
- o Manuelle Eintragung der Einheitspreise
- o Fehlende Schnittstelle für Energiebewertung
- o Ergänzung weiterer Bauteiltypen für Kostenbewertung sinnvoll
- o Analyse zur Flexibilität erfolgt manuell

- o Klare Bauteilbezeichnung für Zuordnung zu Kostengruppe hilfreich
- o Funktionsflächen nicht erfasst
- Korrektur der BGF notwendig (Dachterrasse)

- Korrektur der BGF notwendig (Dachterrasse)

Vor- und Nachteile gegenüber der manuellen Modellierung

- + Strukturierte Modellbildung
- + Iterativer Entwurfsprozess
- + Schnelle und genaue Generierung des Wohngebäudes
- + Direkte Auswertung des Entwurfs
- o Individuelle Anpassung einzelner Elemente
- Modellierung abhängig vom Raster

Abb. 112: Erkenntnisse der Fallstudie

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



K A P I T E L S E C H S

CONCLUSIO

Die Entwicklung des Algorithm-Aided BIM Skripts ALBIS, die Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten von algorithmischem Design im Wohnbau und die konkrete Überprüfung im Rahmen einer vergleichenden Fallstudie lässt verschiedene Schlussfolgerungen in Bezug auf eine Optimierbarkeit des Entwurfsprozesses zu. Im Folgenden wird zunächst das Ergebnis der Durchführbarkeit von AAB mit modularem Wohnbau zusammengefasst und abschließend geklärt, wie gut sich Wohnbau parametrisch und algorithmisch generieren lässt. Anschließend wird ein Resümee zur eingesetzten Software und dem Workflow gezogen. Ist der gewählte Ablauf zielführend? Ist die Verknüpfung der drei Programme (Revit, Dynamo und Excel) dafür geeignet? Zuletzt wird die Frage nach dem postulierten optimierten Entwurfsprozess beantwortet und ob die gesetzten Maßnahmen mit AAB einen effizienten Entwurfsprozess erreichen.

AAB und modularer Wohnbau

Der Einsatz von algorithmischen Prozessen im Entwurf führt häufig zu einer Diskussion über die gestalterische Vielfalt und architektonische Qualitäten, die vermeintlich dadurch eingeschränkt würden. Im Rahmenwerk wurde deshalb bewusst darauf verzichtet für alle Teilelemente des Wohnbaus Parameter zu erstellen. Die Grundstruktur, bestehend aus Raster, Tragstruktur, Erschließung, Wohnungen, Fassade und Freiraum, ist in jedem Projekt enthalten und kann daher als übergeordnete Parameter-Gruppe genutzt werden. Die einzelnen Bestandteile schließlich in weitere Elemente zu gliedern, um diese durch Parameter zu definieren, erfordert ein Abwägen zwischen den drei Faktoren: Umfang der algorithmischen Programmierung, Einsetzbarkeit in möglichst vielen verschiedenen Projekten und Einschränkung der Vielfalt. Die These, dass sich der Bautyp des mehrgeschossigen Wohnbaus algorithmisch aufbauen lässt, wurde bewiesen. Es wurde gezeigt, dass das entwickelte Skript einen mehrgeschossigen Wohnbau aus einzelnen Modulen generieren kann. Diese Module können dabei aus manuellen Konfigurationen bestehen (Erschließung aus gezeichneten Modulen), durch eine vereinfachte manuelle Eingabe generiert werden (Wohnungen aus Linien-Grundrissen), oder vollständig durch Parameter-Werte definiert werden (Raster, Tragwerk, Fassade, Balkone). Die Wahl der Parameter entscheidet dabei über die Vielfalt der Ergebnisse.

Workflow und Software

Die Kombination von Revit, Dynamo und Excel als Software-Umgebung ermöglicht einen klar strukturierten Ablauf aller Schritte im Prozess. Die Verknüpfung von Revit und Dynamo erfüllte, nicht zuletzt wegen der nativen Schnittstelle, einen reibungslosen Datenaustausch. Code-Bausteine, die eigens für Revit-Elemente zur Verfügung stehen, ermöglichen einen guten Eingriff in die BIM-Elemente. Beim Ausführen von Operationen, die eine Transformation von Revit-Elementen ermöglichen sollen, stößt man auf Hindernisse. Der Einfluss von Dynamo beschränkt sich auf die Anpassung einzelner Exemplar-Parameter. Da die Position und Orientierung der Elemente jedoch in einer tieferen

Ebene von Revit gespeichert wird, kann auf diese nur über die sogenannte Revit-API zugegriffen werden. In Dynamo bietet sich aber die Möglichkeit an, über eigens erstellte Skripts, geschrieben in der Programmiersprache Python oder C#, auch auf diese Inhalte zuzugreifen und diese zu manipulieren. In Dynamo selbst gab es jedoch oftmals bei der Ausführung des Skripts Fehler, die auf eine nicht gänzlich ausgereifte Software zurückzuführen sind. Gewisse Prozessfehler konnten nur durch einen Neustart der Programme behoben werden. Ebenso entstanden durch die Verknüpfung von Dynamo mit Excel Schwierigkeiten. Die Import- und Export-Bausteine für Excel, die in Dynamo verfügbar sind, benötigten vor jeder Ausführung eine erneute Verknüpfung mit der Zielfeile, um den aktuellen Stand zu übernehmen. Eine Auflistung der entstandenen Probleme kann im Anhang 8 eingesehen werden. Für die Umsetzung von ALBIS erfüllte die Softwareumgebung ihren Zweck und konnte trotz einiger Umstände ein zufriedenstellendes Ergebnis erreichen.

Der Arbeitsablauf zwischen den drei Programmen stellt sich als hilfreich heraus. Speziell bei der Erstellung des Skripts ermöglichte diese Umgebung einen übersichtlichen Ablauf und erlaubt ein stufenweises Testen und Anpassen der einzelnen Schritte von ALBIS. Bei der Anwendung in den beiden Fallbeispielen hat sich die Trennung von Eingabe, Skript und Ausgabe ebenfalls bewährt. Trotz grafischer Darstellung mit Code-Bausteinen im GAE wird das konstruierte Skript rasch unübersichtlich und langsam. Die Auslagerung der Eingabefelder ermöglicht, dass die Ausführung der algorithmischen Prozesse im Hintergrund stattfinden kann, während der Fokus auf Revit und Excel gelegt wird.

Optimierter Entwurfsprozess

Konnte die Integration von AAB in den Entwurfsprozess von modularem Wohnbau einen effizienteren Entwurfsabschluss erreichen? Angesichts der Resultate, die das Skript ALBIS hervorgebracht hat, kann diese Frage klar bejaht werden. Im Laufe der Arbeit wurden die Möglichkeiten, die algorithmisches Design bietet, erläutert. Es wurde gezeigt, dass modularer Wohnbau in einzelne Bestandteile unterteilt und durch Parameter generiert werden kann. Die Grundelemente des Wohnbaus bieten dafür den ersten Schritt zur Parametrisierung. Sie werden wiederum in Unterelemente gegliedert, die algorithmisch generiert werden. Diese generierten Daten können in BIM genauso algorithmisch ausgelesen werden, um diese an eine automatisierte Bewertung weiterzugeben. Die Bewertung des Entwurfes anhand der definierten Kriterien ermöglicht eine direkte Überprüfung der Effizienz und lässt einen Vergleich von einzelnen Varianten und mit anderen Projekten zu. Insgesamt konnte damit der gesamte Ablauf an mehreren Stellen durch den Einsatz von AAB optimiert werden. In einem iterativen Entwurfsprozess werden die Parameter mehrmals durchlaufen und ermöglichen so eine systematische Verbesserung der Ergebnisse. Automatisierte Schnittstellen zu Kostendaten und bauphysikalischen Berechnungsprogrammen würden einen weiteren Schritt zur Prozessoptimierung ermöglichen. Die Entscheidung,

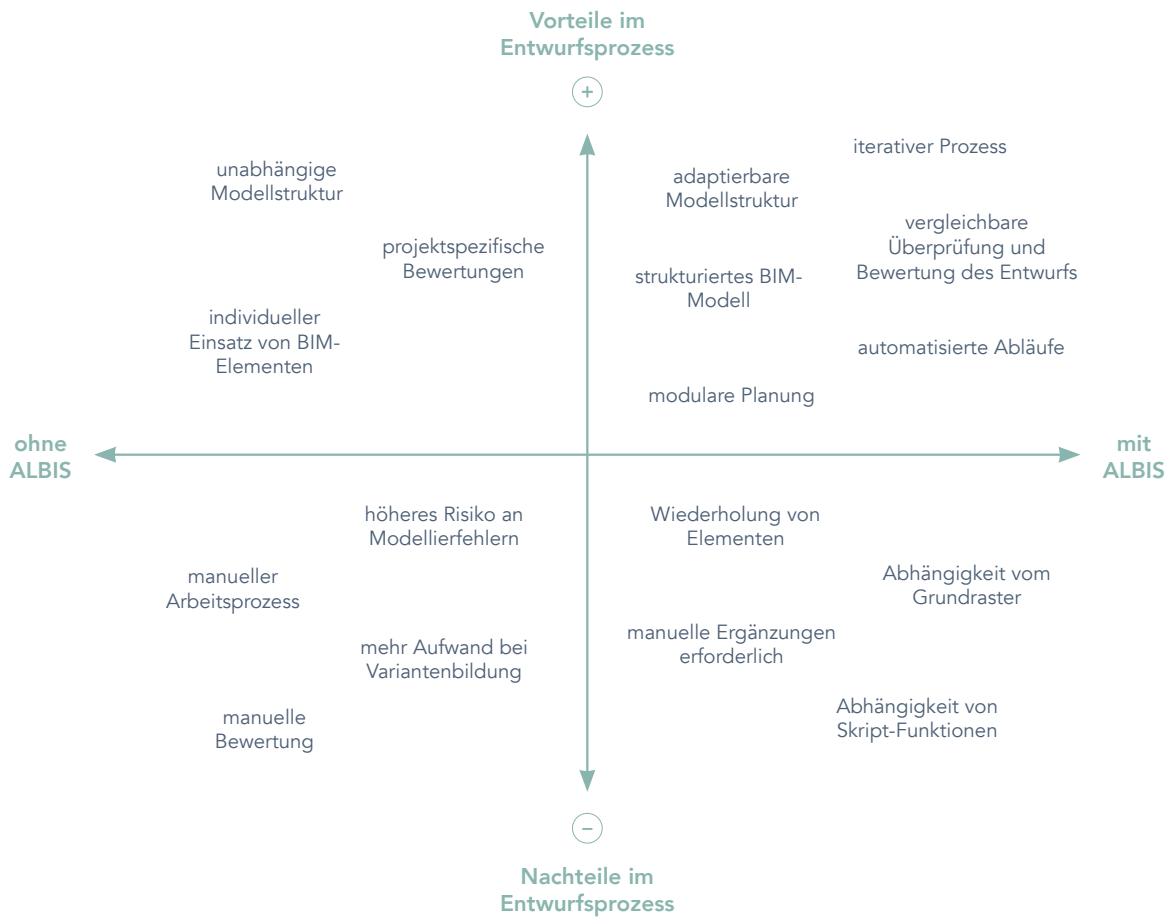


Abb. 113: Potentiale und Defizite eines Algorithm-Aided BIM Skripts

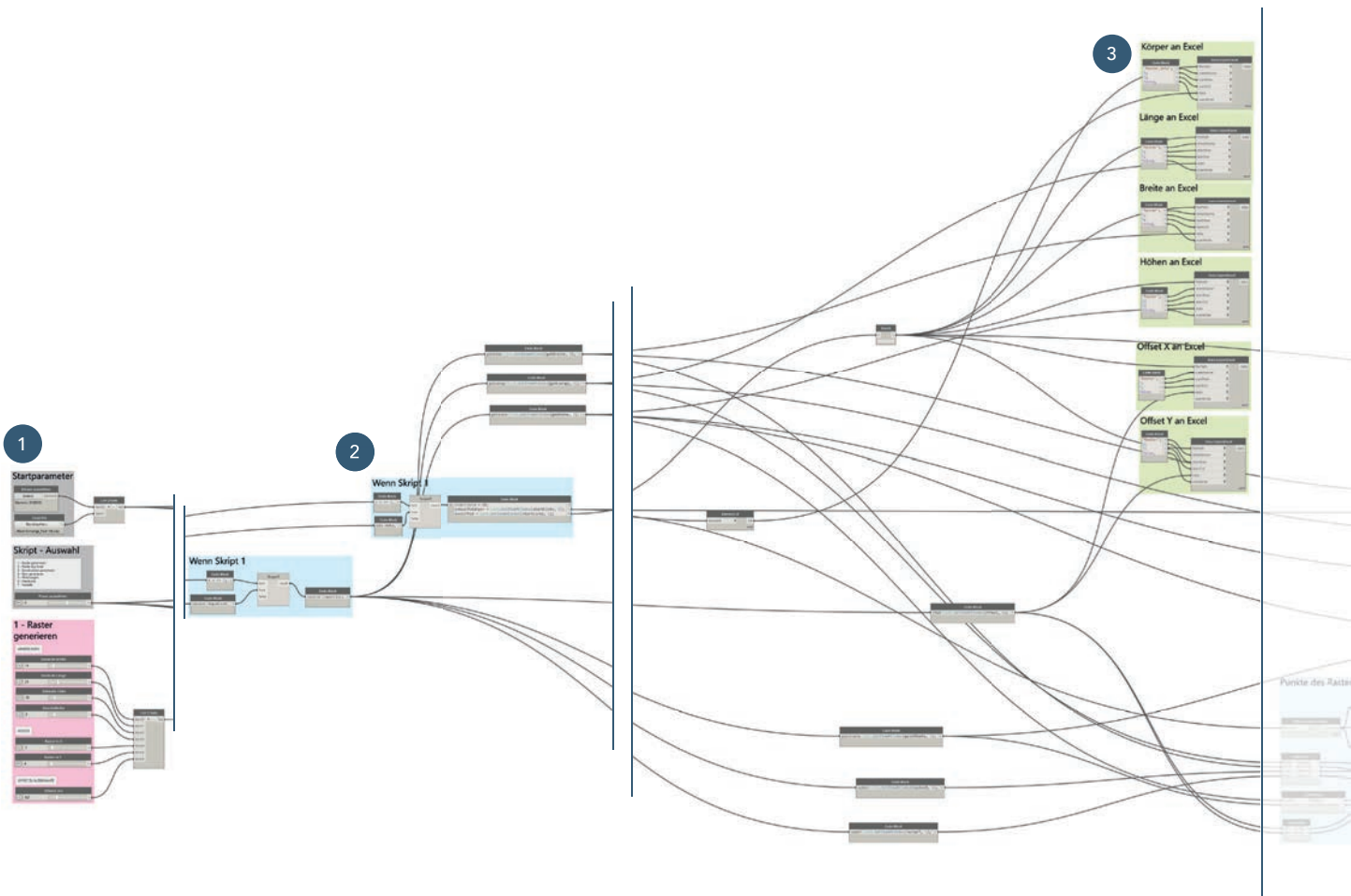
gewisse Elemente im Entwurf durch eine manuelle Modellierung zu erzeugen, erwies sich als richtig, um auch unterschiedliche Konzepte und Entwurfsideen umzusetzen. Die Generierung der beiden Fallbeispiele und deren Unterschiede in den Bestandteilen verdeutlichen dies. Im Rahmenwerk wird außerdem gezeigt, dass eine Wiederholung von Elementen im Entwurf nicht nur im Sinne einer anschließenden seriellen Vorfertigung ist, sondern auch den Planungs- und Ausführungsprozess optimieren kann. Der Einsatz von ALBIS ist daher auch vorrangig bei jenen Projekten effizient, die eine modulare Bauweise oder eine serielle Vorfertigung einzelner Elemente zum Ziel haben. Abbildung 113 zeigt abschließend die Potentiale und Defizite, die ein Algorithm-Aided BIM Skript – wie ALBIS – bietet.

Abschließend soll erwähnt werden, dass ALBIS ein grundlegendes System für algorithmisches Design von Wohnbauten darstellt. In weiterer Folge könnte dieses Skript durch Ergänzungen und Erweiterungen, sowohl bei der Generierung als auch bei der Auswertung, zu einem umfassenderen Planungswerkzeug ausgebaut werden, das die Entwurfsarbeit in den frühen Planungsphasen maßgeblich unterstützt.

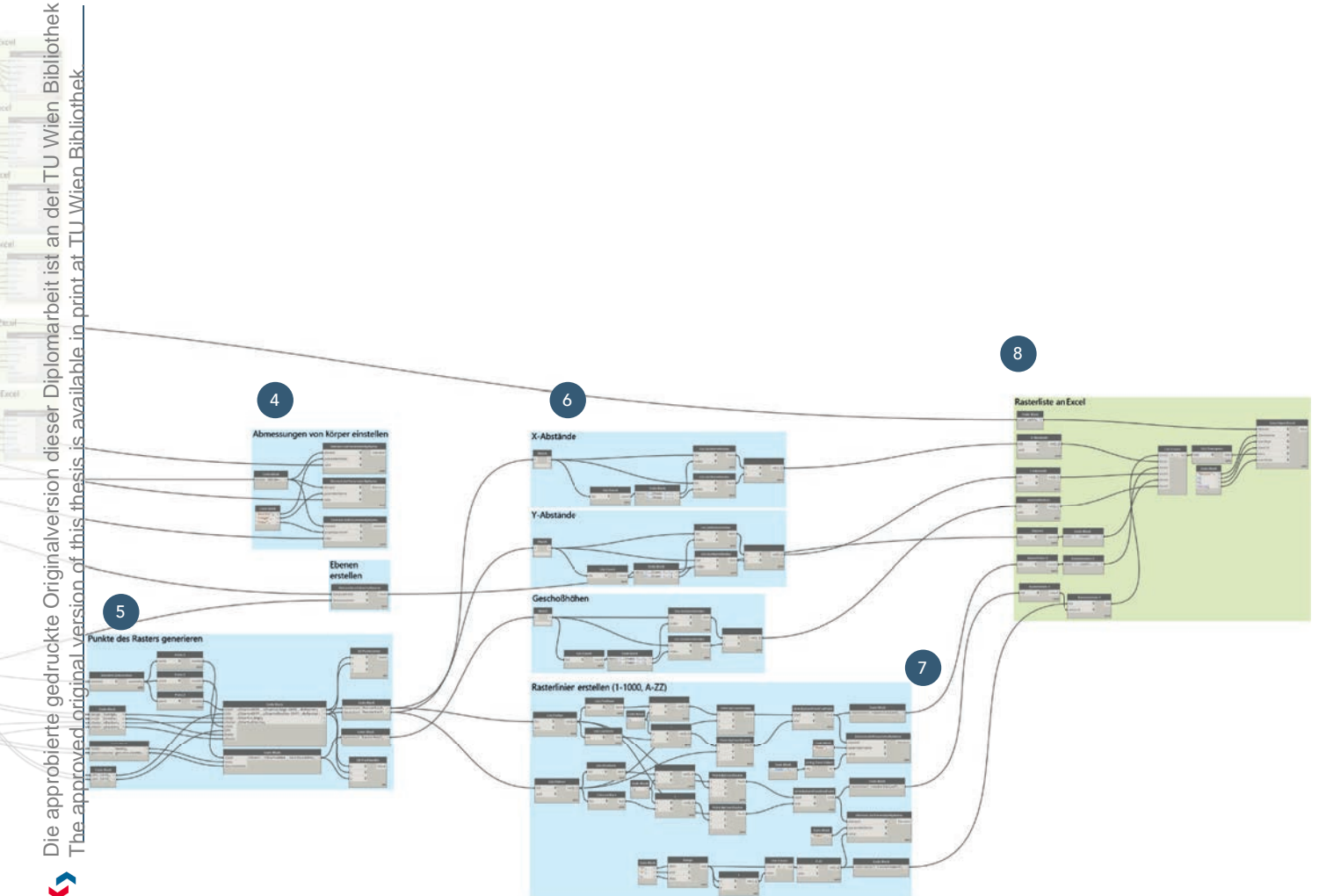
ANHANG

Anhang 1: Dynamo-Skript – Grundgerüst generieren

- 1 - Verknüpfen des Revit-Körpers und der Excel-Datei mit Dynamo
Auswählen des auszuführenden Skripts (1–7)
Eingeben der Abmessungen, Achsen und Offsets
- 2 - Ausführen des nachfolgenden Codes, wenn Skript 1 ausgewählt ist
- 3 - Übergabe der eingegebenen Daten an die Excel-Datei



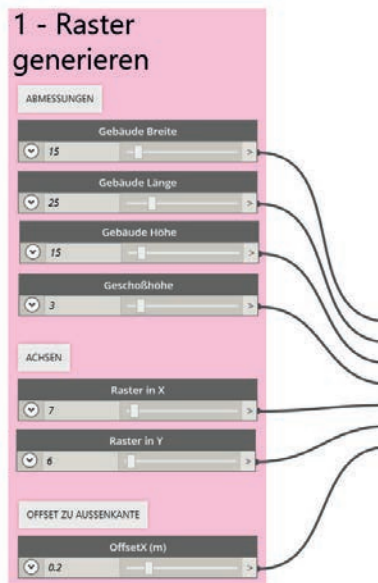
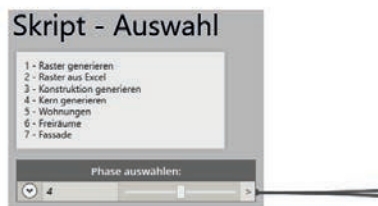
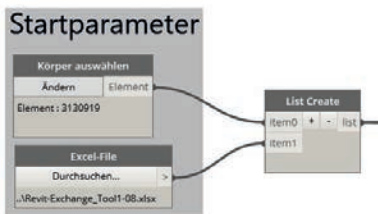
- 4 - Parameter und Dimensionen des Revit-Körpers ändern
- 5 - Punkte für Raster in Dynamo generieren
- 6 - Abstände der Rasterlinien in X-, Y-Richtung und Ebenen berechnen
- 7 - Namen der Rasterlinien von 1-1000 und von A-ZZ generieren
- 8 - Alle erzeugten Rasterinformationen an die Excel-Datei weitergeben



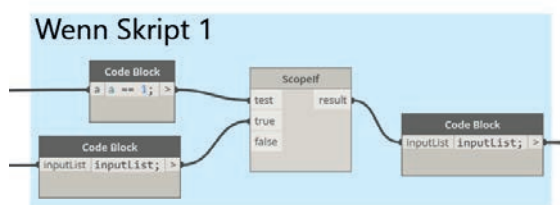
Anhang 1: Dynamo-Skript – Grundgerüst generieren

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1

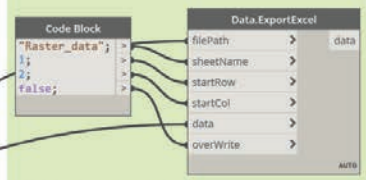


2

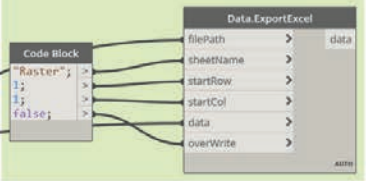


3

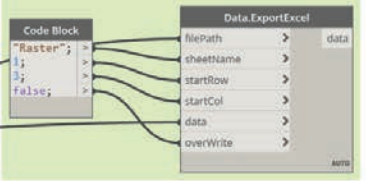
Körper an Excel



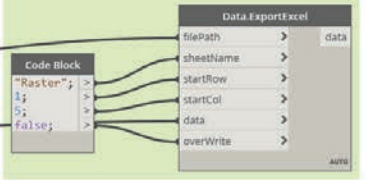
Länge an Excel



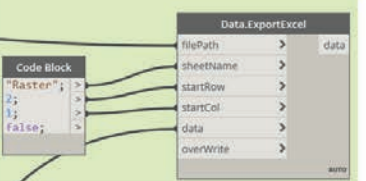
Breite an Excel



Höhen an Excel



Offset X an Excel

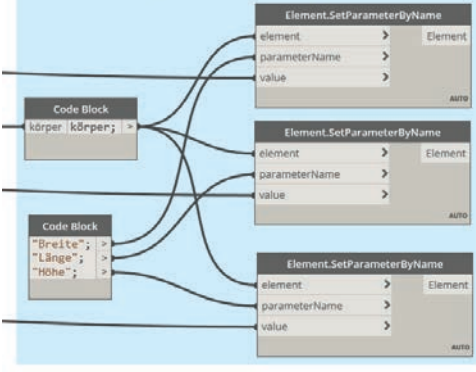


Offset Y an Excel



4

Abmessungen von Körper einstellen

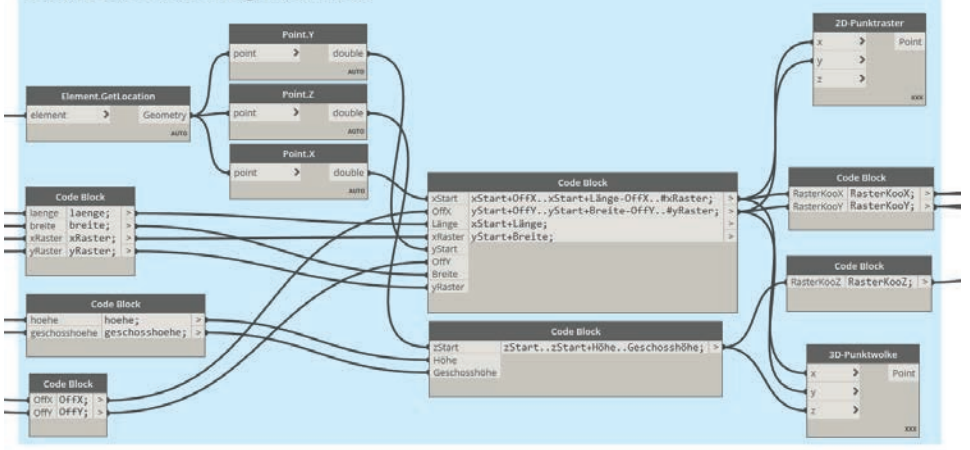


Ebenen erstellen



5

Punkte des Rasters generieren



Anhang 1: Dynamo-Skript – Grundgerüst generieren

6

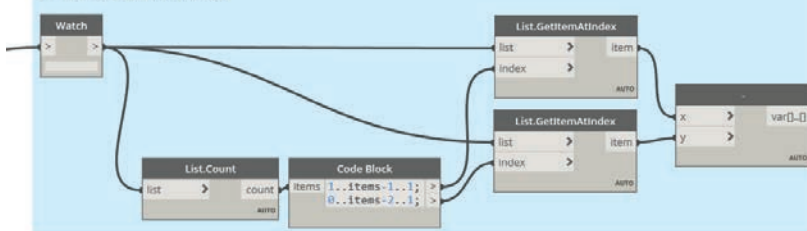
X-Abstände



Y-Abstände

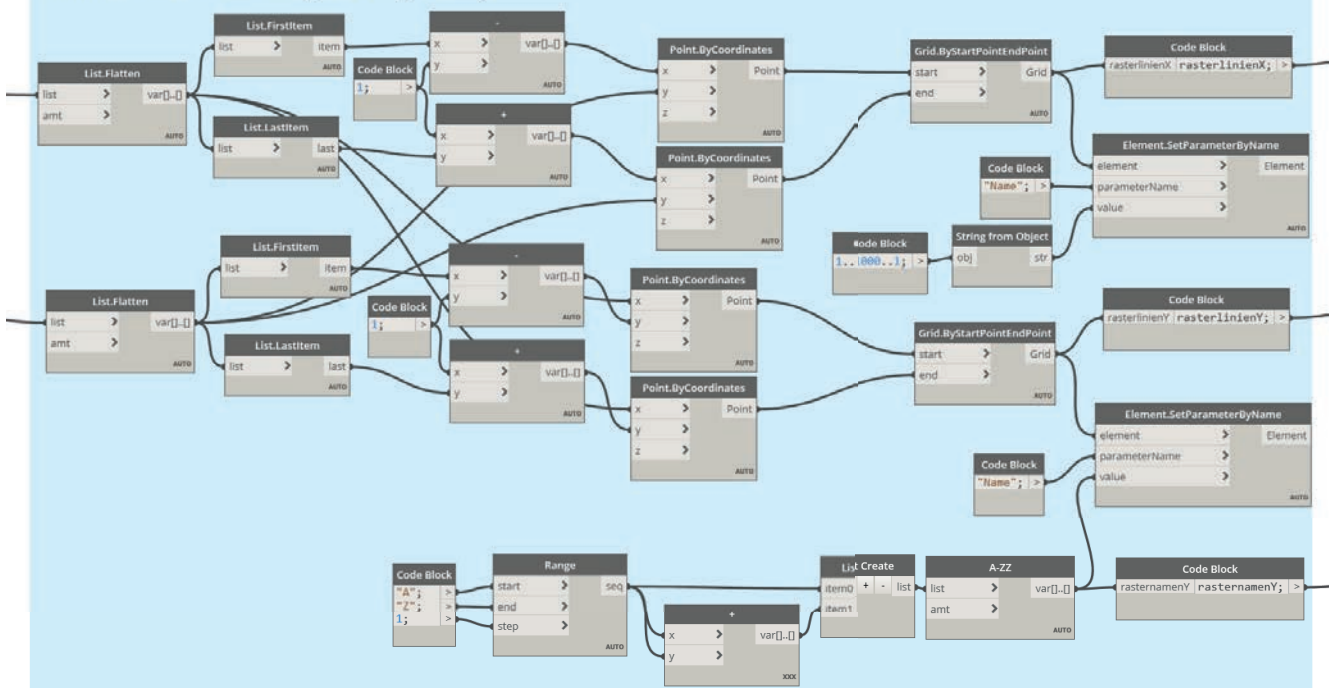


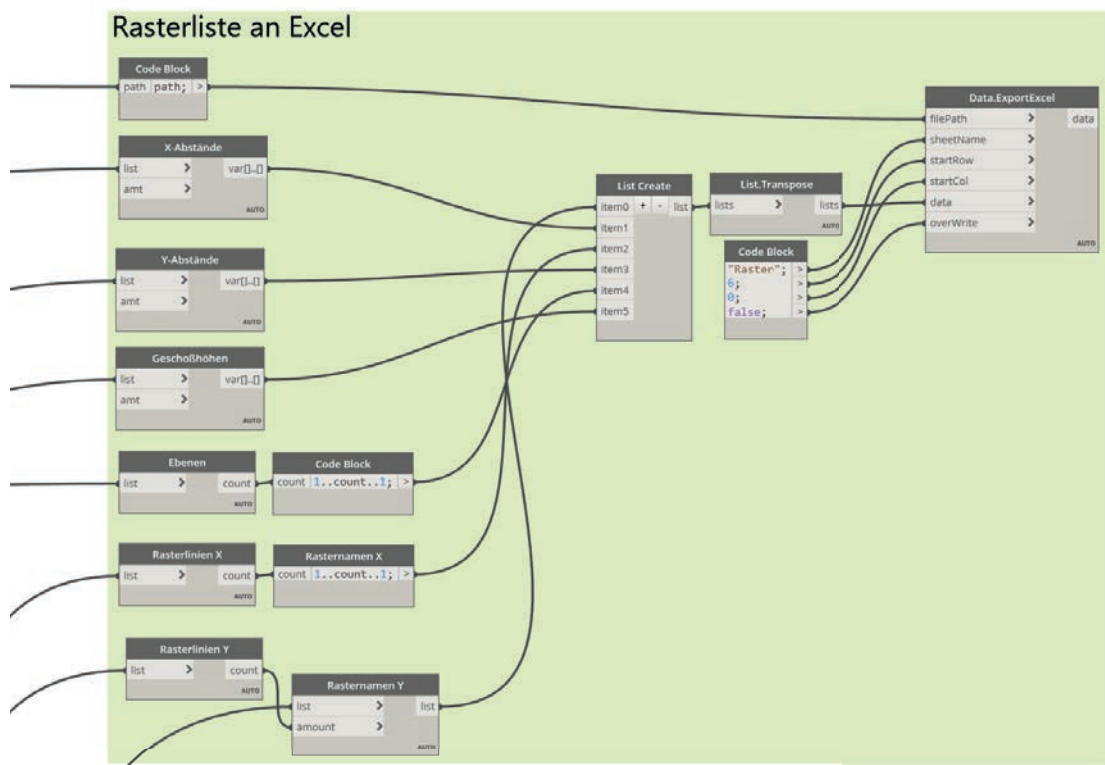
Geschoßhöhen



7

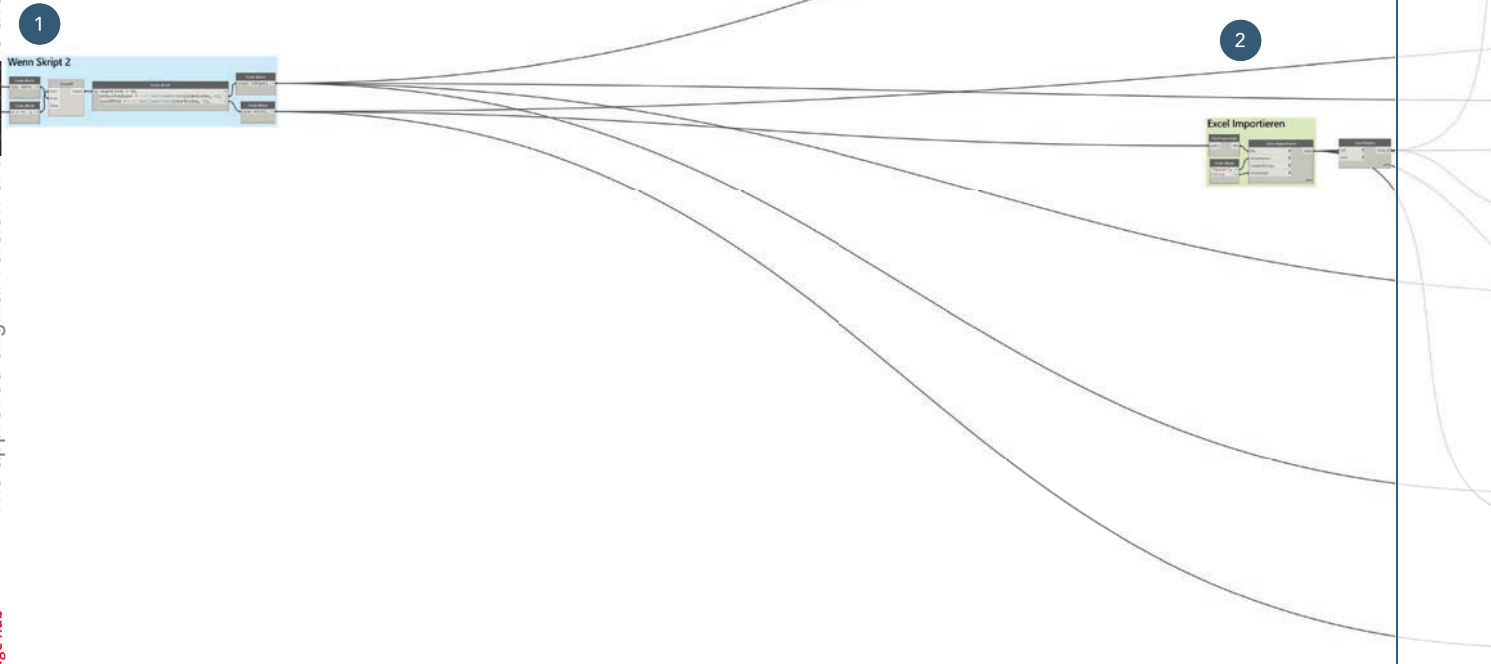
Rasterlinien erstellen (1-1000, A-ZZ)





Anhang 2: Dynamo-Skript – Grundgerüst aus Excel

- 1 - Ausführen des nachfolgenden Codes, wenn Skript 2 ausgewählt ist
- 2 - Importieren der (geänderten) Raster-Daten aus der Excel Datei



Anhang 2: Dynamo-Skript – Grundgerüst aus Excel

1

Wenn Skript 2



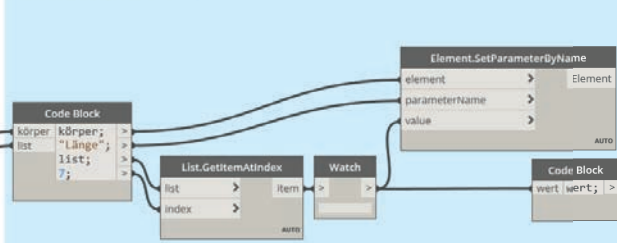
2

Excel Importieren

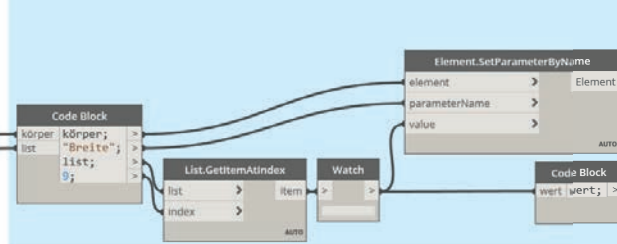


3

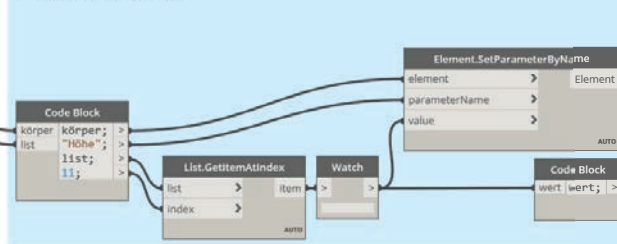
Gebäudelänge



Gebäudebreite



Gebäudehöhe



4

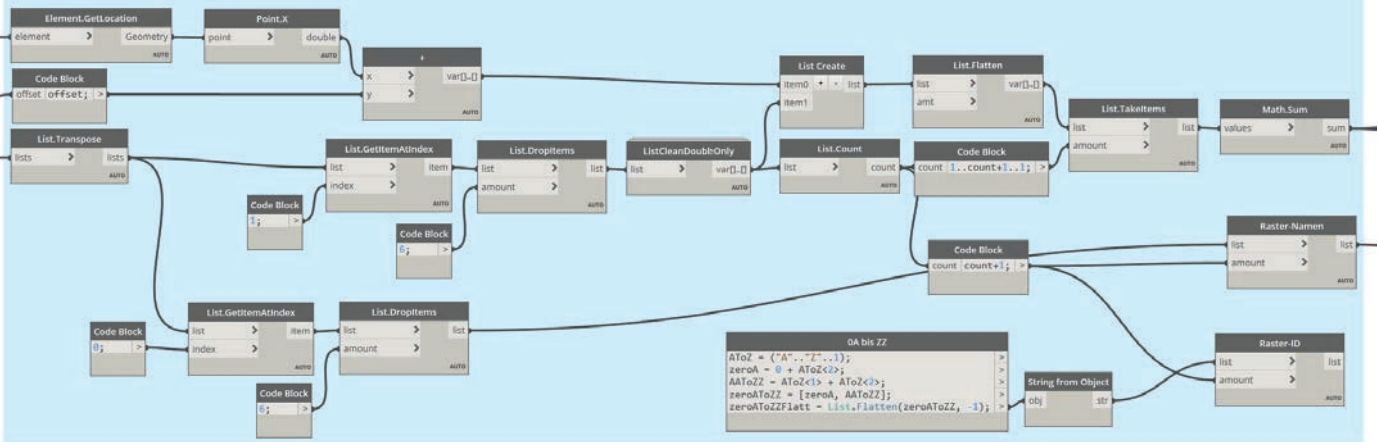
Offset X & Y



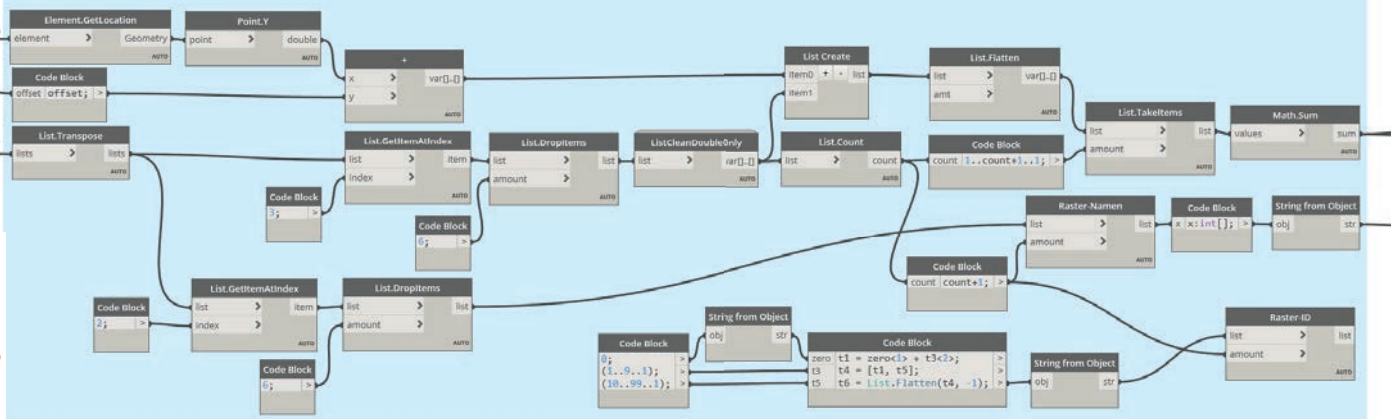
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4

X-Koordinaten



Y-Koordinaten

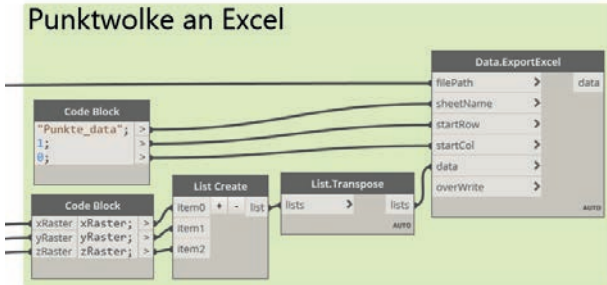


Anhang 2: Dynamo-Skript – Grundgerüst aus Excel

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

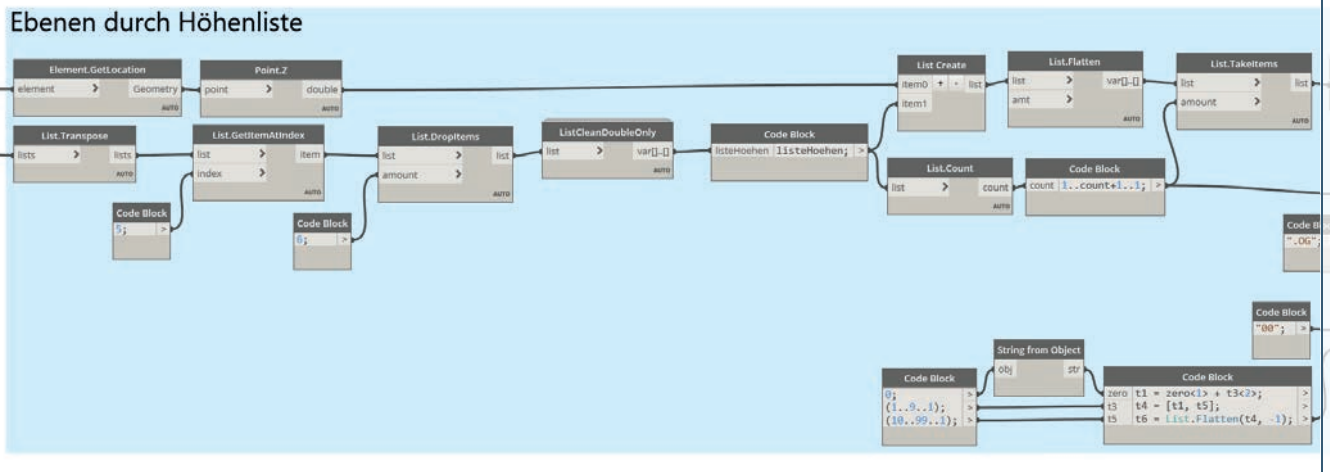
6

Punktwolke an Excel



5

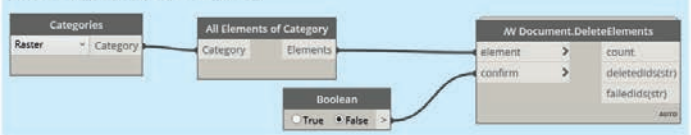
Ebenen durch Höhenliste



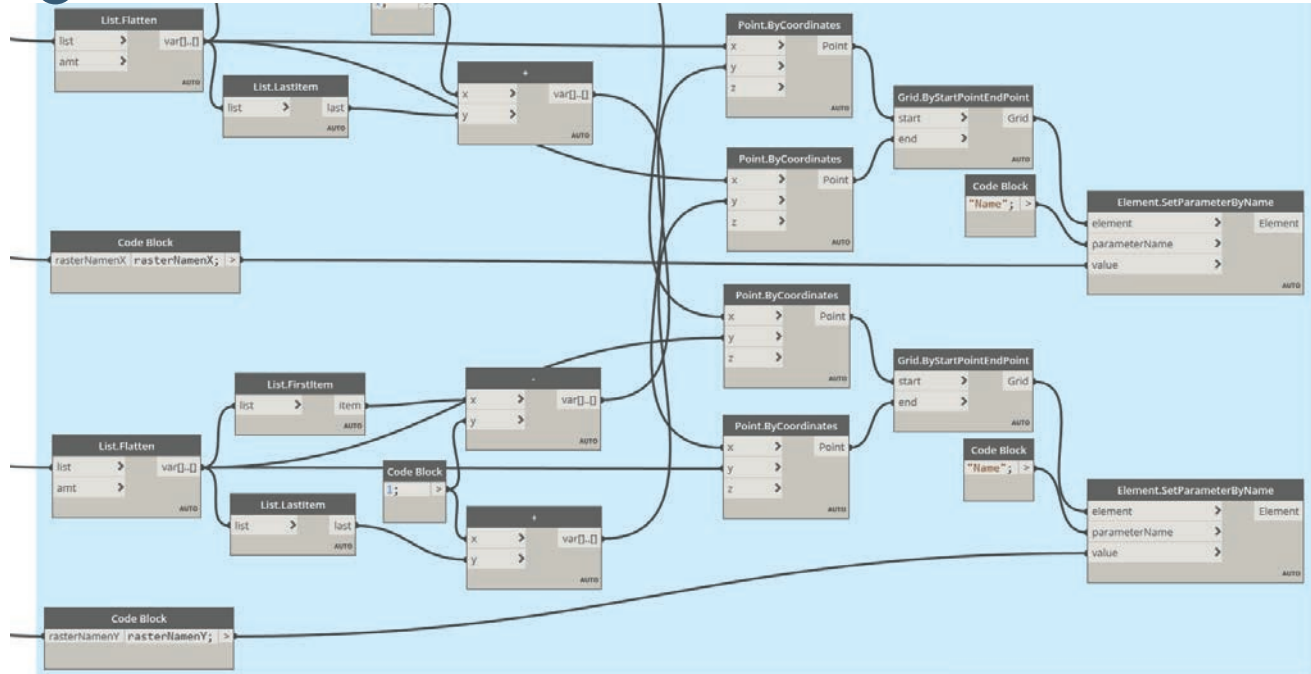
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7

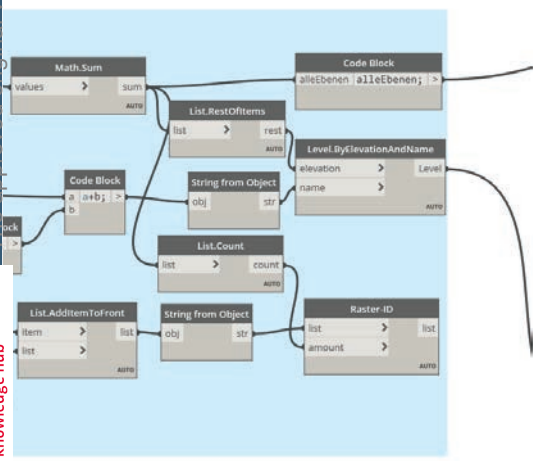
Rasterlinien löschen



8

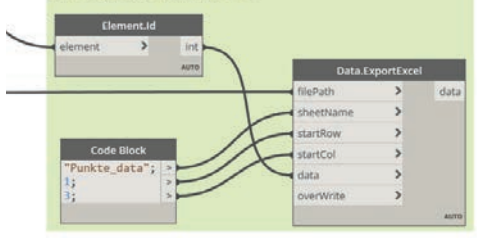


5

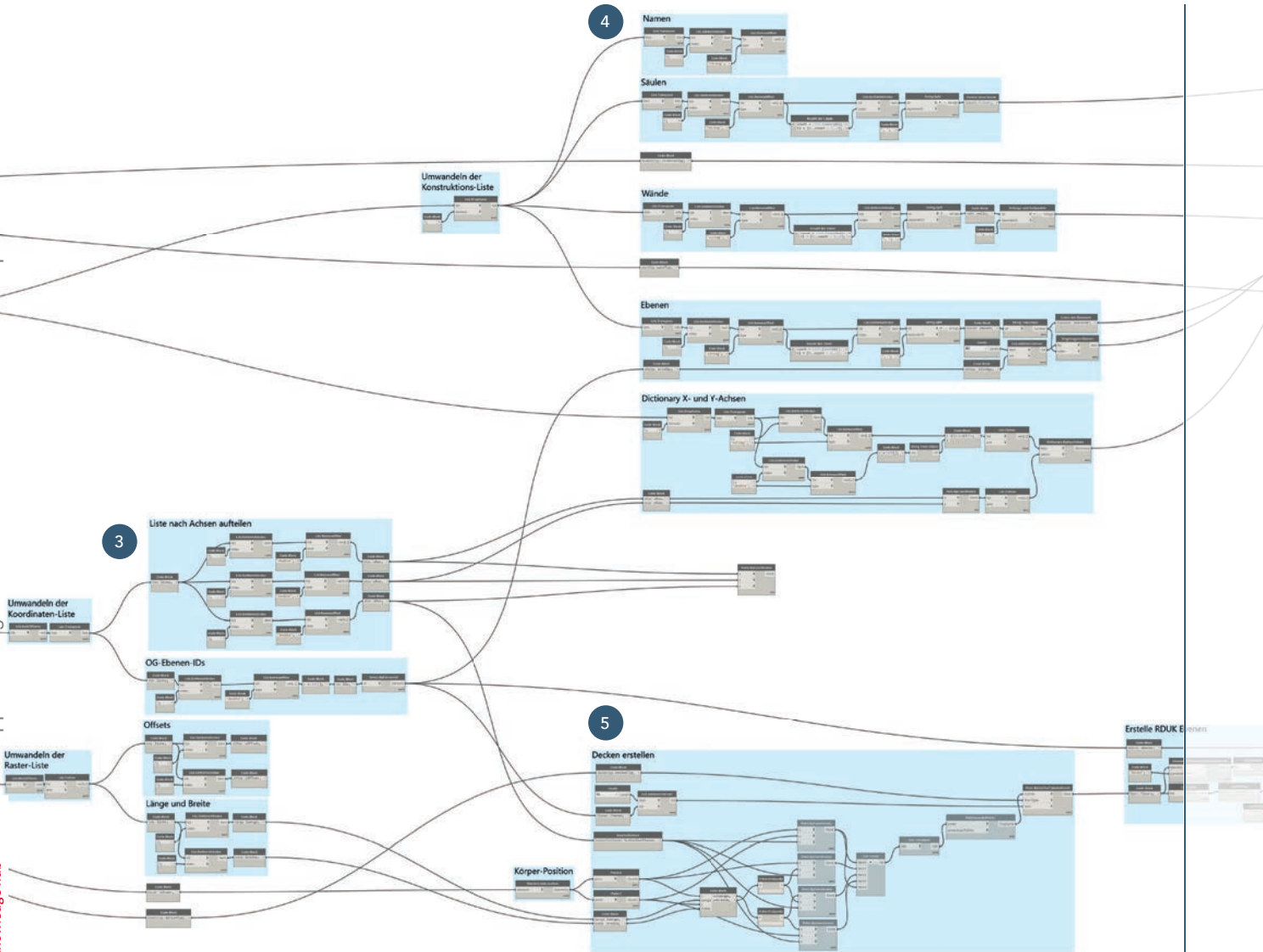
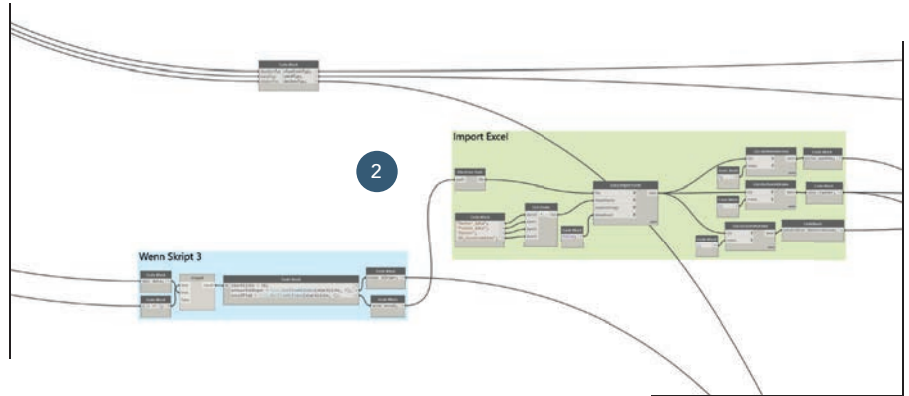
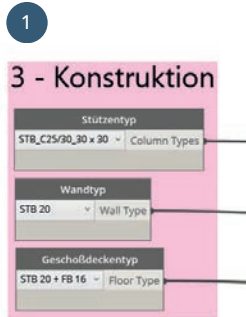


9

Ebenen an Excel

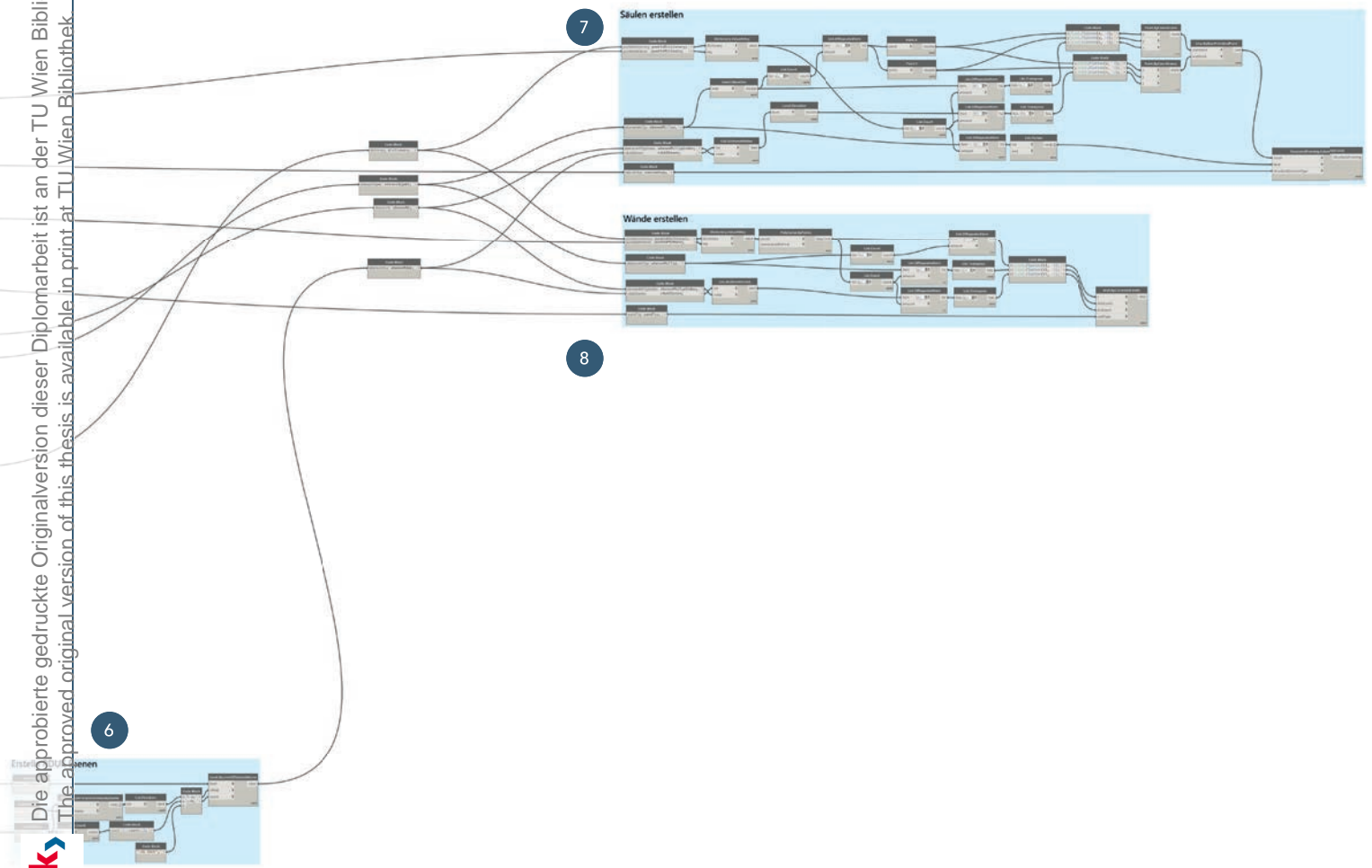


Anhang 3: Dynamo-Skript – Konstruktion generieren



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- 1 - Wahl der Bauteiltypen (aus Revit-Familien) für Stützen, Wände und Geschossdecken
- 2 - Ausführen des nachfolgenden Codes wenn Skript 3 ausgewählt ist und Importieren der Excel-Tabellen
- 3 - Daten aus Raster-Tabellen umwandeln in Punkt-Koordinaten für Dynamo
- 4 - Daten aus Konstruktions-Tabellen umwandeln in Rasterinformationen für Dynamo und Erstellen eines „Dictionary“ zur Verknüpfung von Koordinaten mit Rasternamen
z.B.: A2 = (2/5); A3 = (2/7)
- 5 - Erstellen der Geschossdecken an jeder Ebene bis zur Außenwand des Revit-Körpers
- 6 - Erstellen der Ebenen an der Deckenunterkante jeder Geschossdecke (RDUK)
- 7 - Erstellen der Säulen an jeder in der Tabelle eingegeben Raster- und Ebenenposition
- 8 - Erstellen der Säulen an jeder in der Tabelle eingegeben Raster- und Ebenenposition



Anhang 3: Dynamo-Skript – Konstruktion generieren

2

Wenn Skript 3

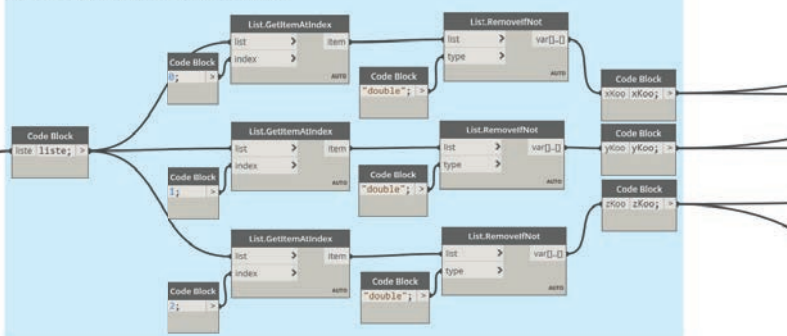


Import Excel

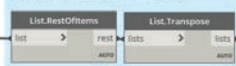


3

Liste nach Achsen aufteilen



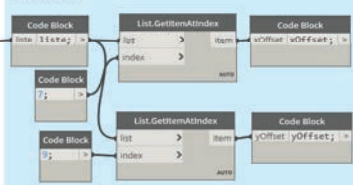
Umwandeln der Koordinaten-Liste



OG-Ebenen-IDs



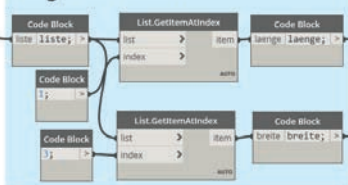
Offsets



Umwandeln der Raster-Liste

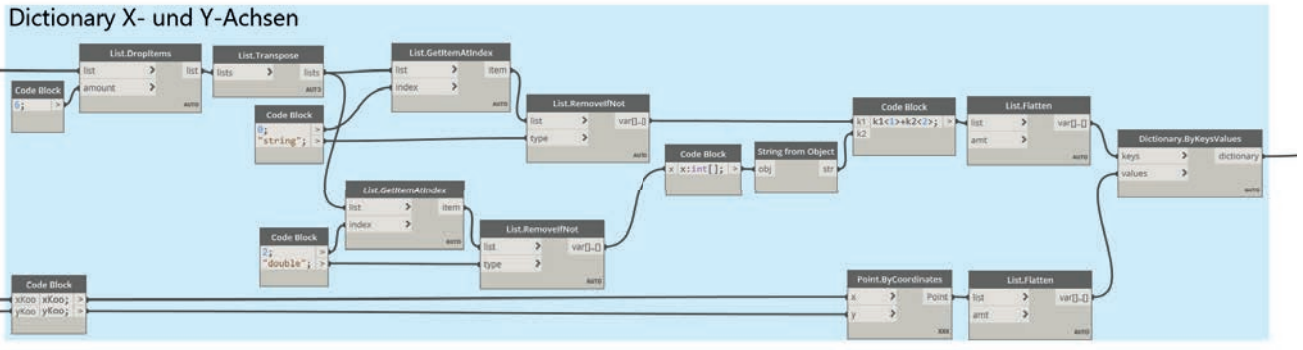
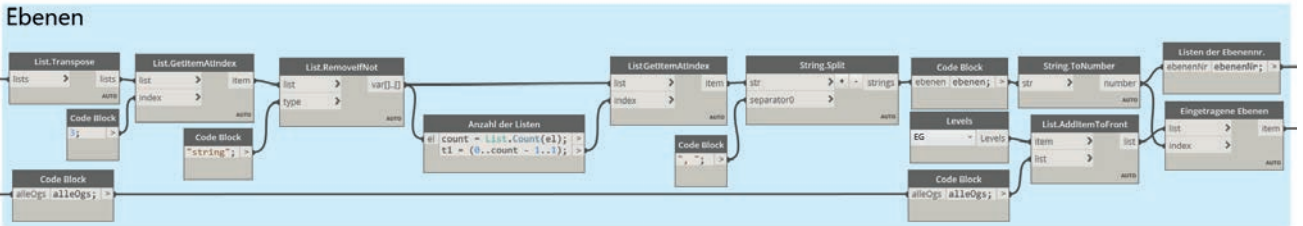
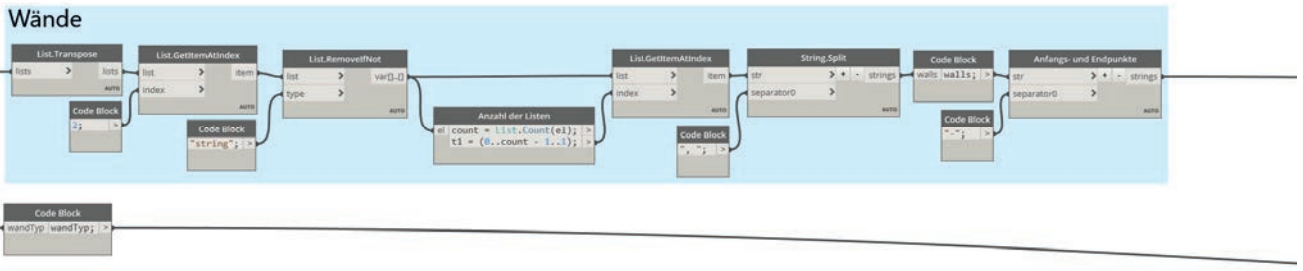
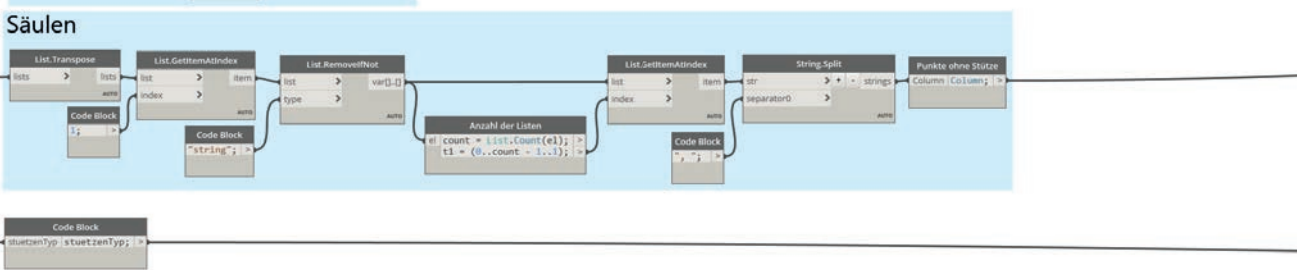
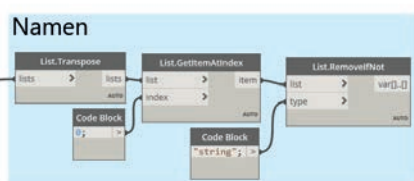


Länge und Breite



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

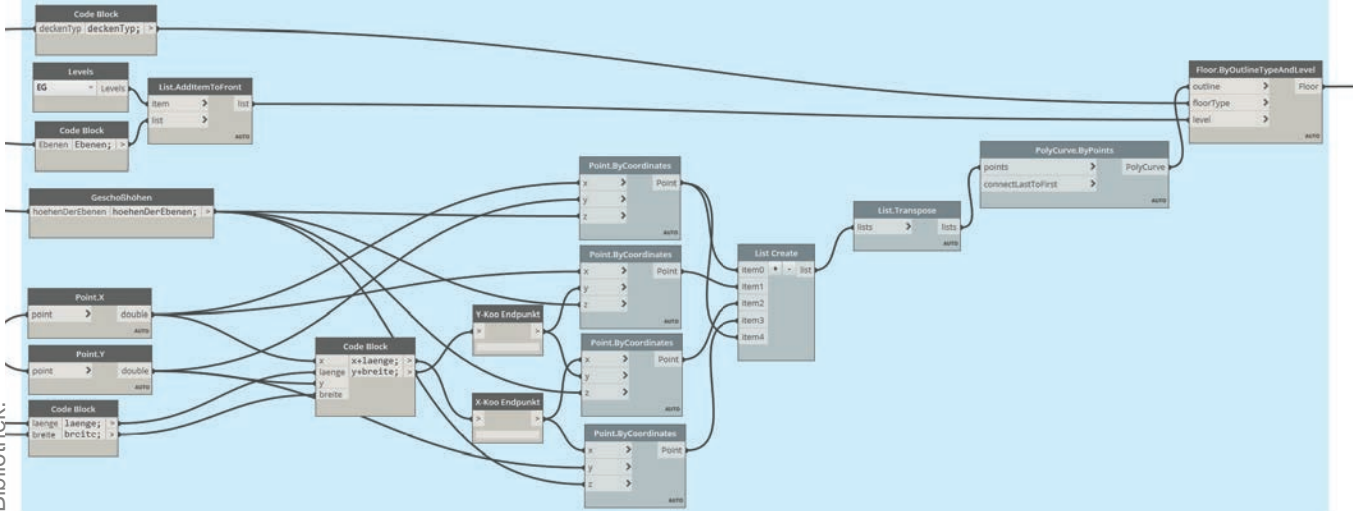
4



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

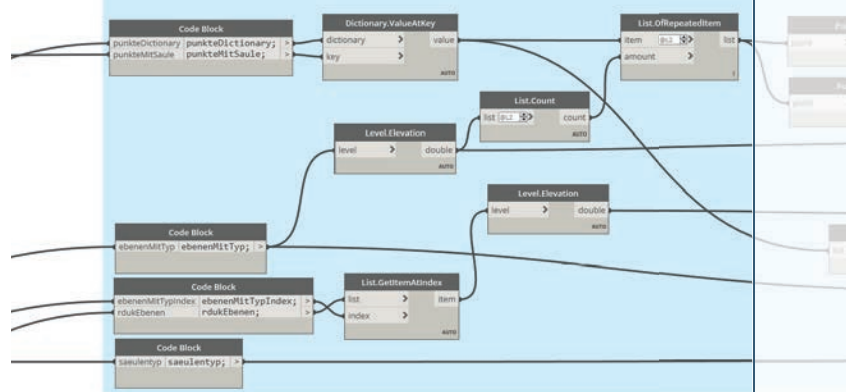
5

Decken erstellen



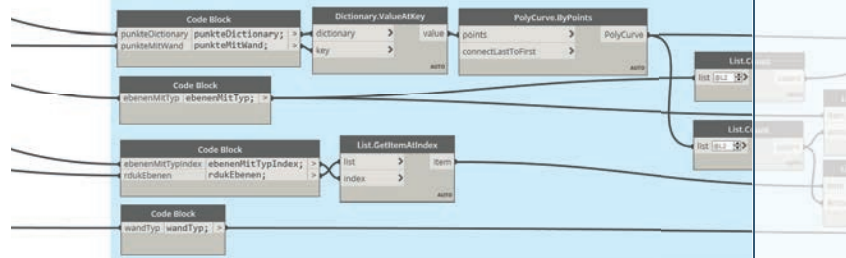
7

Säulen erstellen



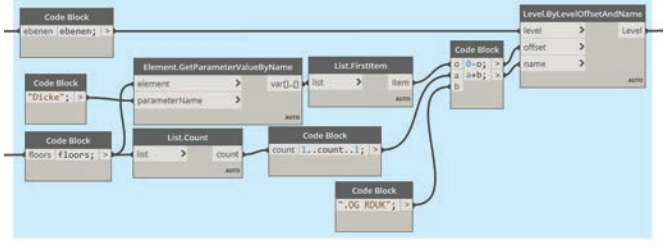
8

Wände erstellen

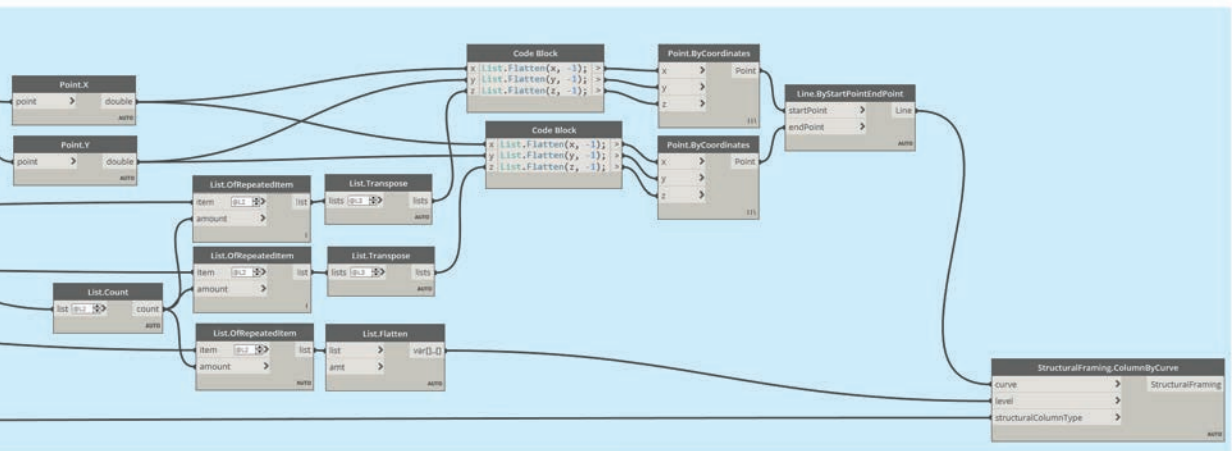


6

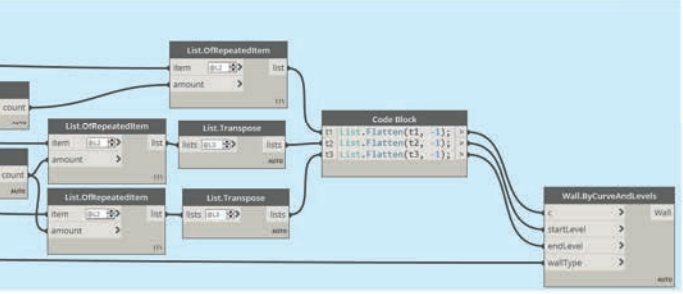
Erstelle RDUK Ebenen



7

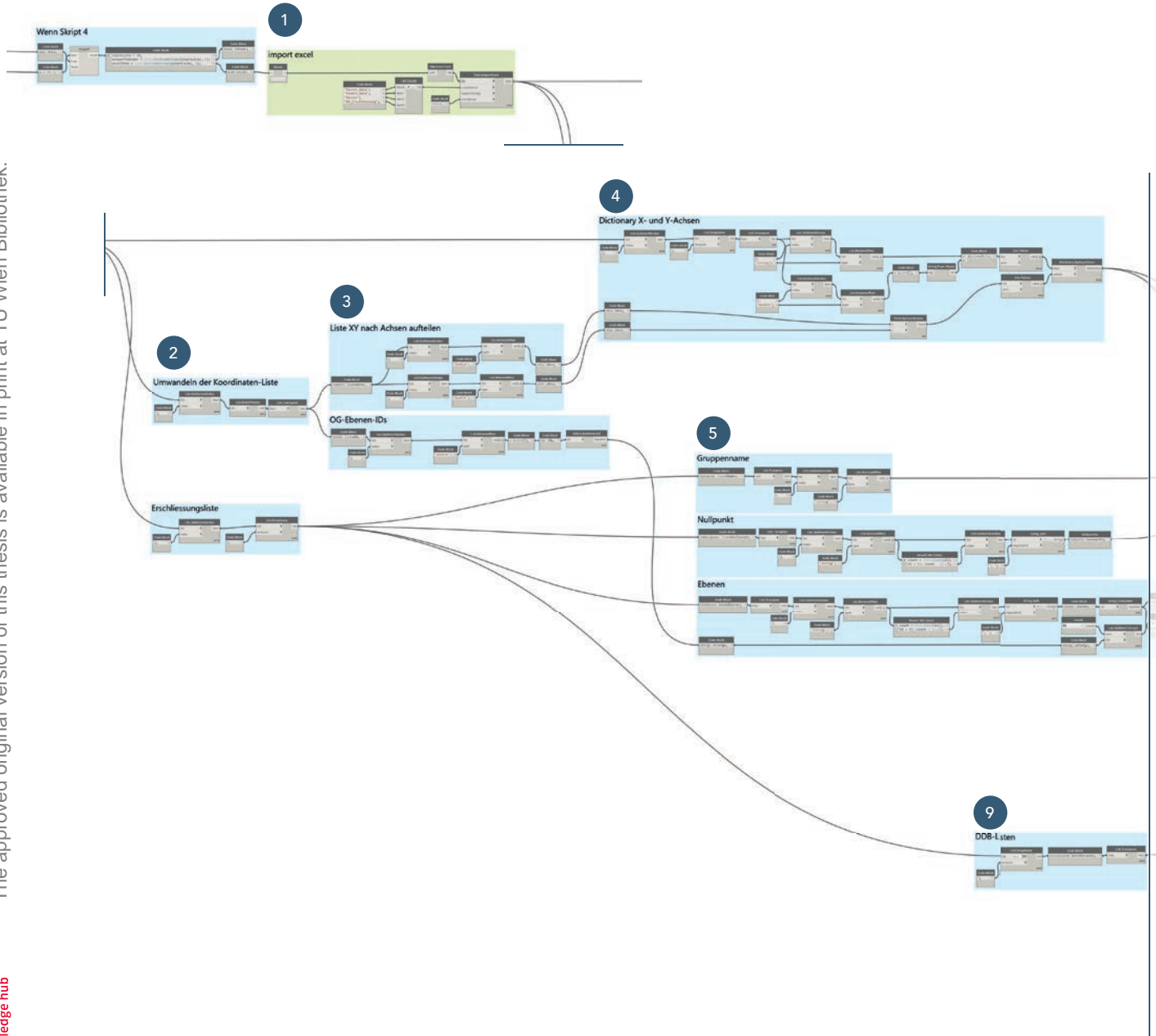


8



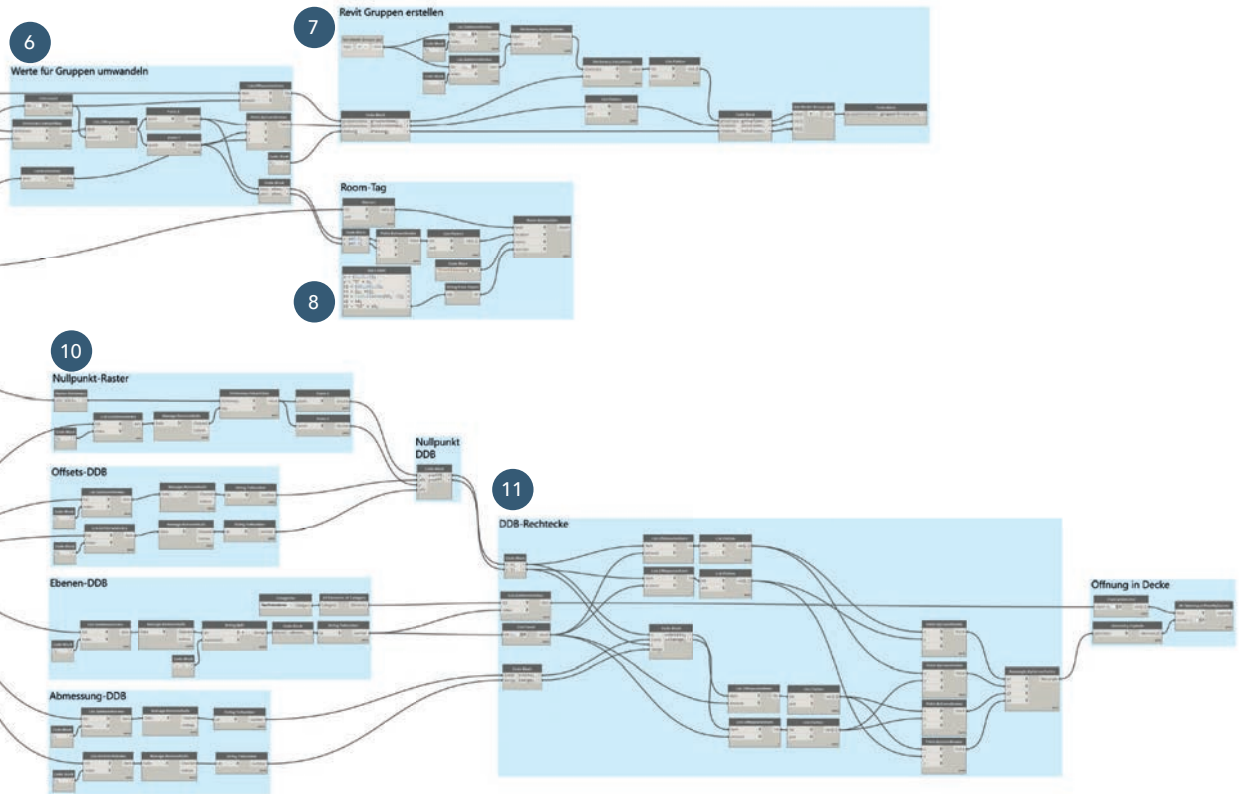
Anhang 4: Dynamo-Skript – Erschließung generieren

- 1 - Ausführen des nachfolgenden Codes wenn Skript 4 ausgewählt ist
- 2 - Daten aus Excel-Listen umwandeln in Dynamo-Daten
- 3 - Filtern der Daten in X- und Y-Koordinaten und Ebeneninformationen
- 4 - Erstellen eines „Dictionary“ zur Verknüpfung von Koordinaten mit Rasternamen
- 5 - Auslesen der Informationen der einzelnen Erschließungstypen nach Name, Position (Nullpunkt) und Ebenen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- 6 - Umwandeln der Werte aus (5) um diese den Gruppen zuzuweisen
- 7 - Instanzen der Revit-Erschließungs-Gruppen erzeugen und positionieren
- 8 - Platzieren eines Raumes mit Raumstempel in jeder Erschließungsgruppe
- 9 - Auslesen der Informationen für Deckendurchbrüche
- 10 - Positionen der Deckendurchbrüche verarbeiten und Koordinaten für Dynamo aufbereiten
- 11 - Rechtecke für Deckendurchbrüche generieren und Geschossdecken in Revit an der jeweiligen Position ausschneiden



Anhang 4: Dynamo-Skript – Erschließung generieren

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

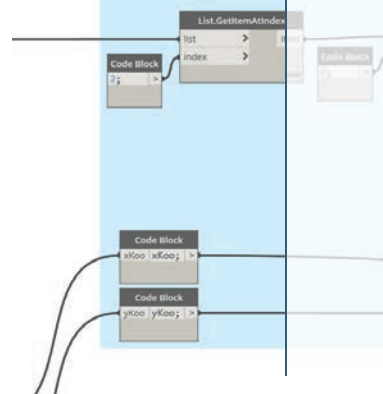
1

Wenn Skript 4



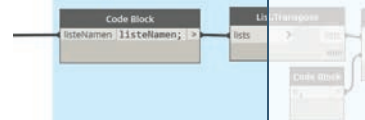
4

Dictionary X- und Y-Achsen



5

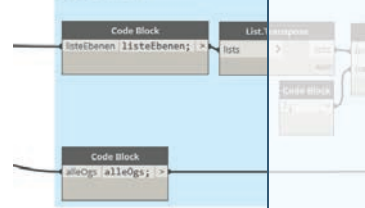
Gruppenname



Nullpunkt



Ebenen



2

Umwandeln der Koordinaten-Liste

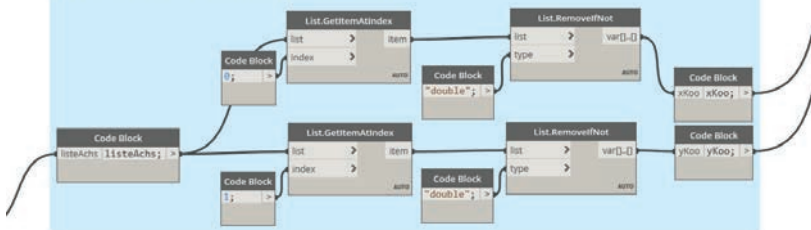


Erschließungsliste

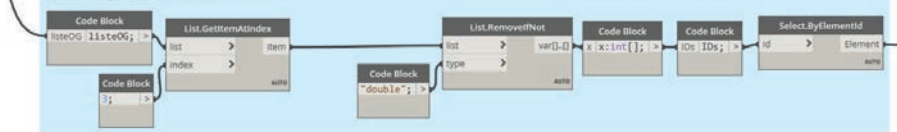


3

Liste XY nach Achsen aufteilen

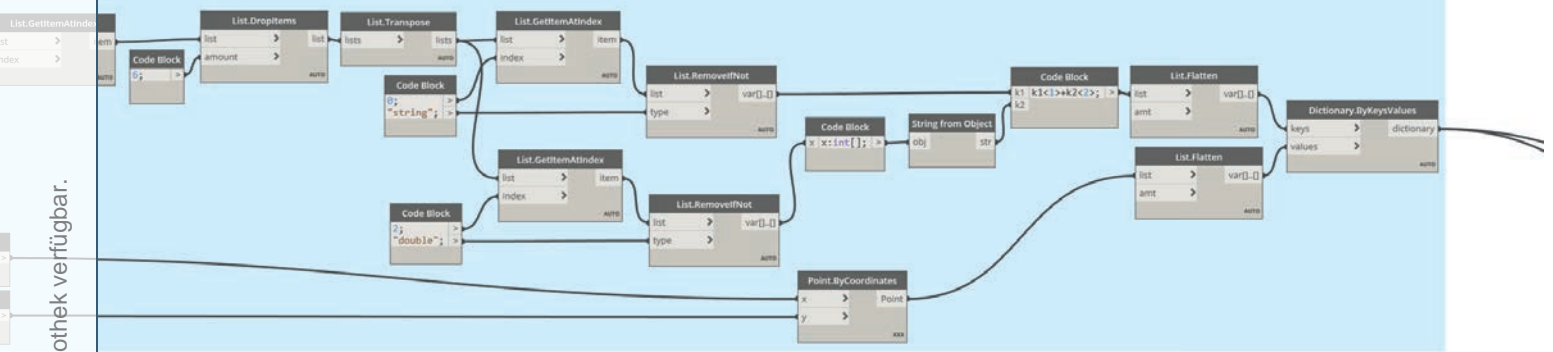


OG-Ebenen-IDs



4

Primary X- und Y-Achsen

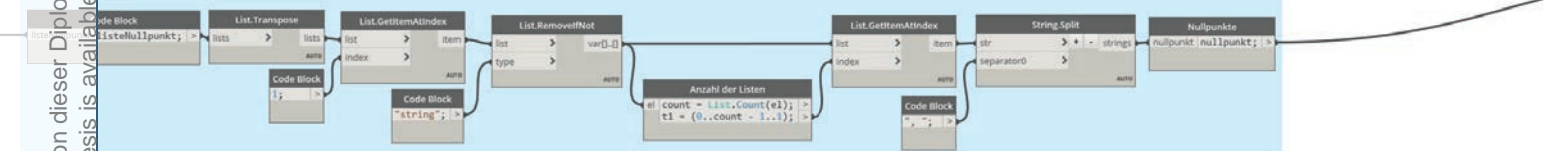


5

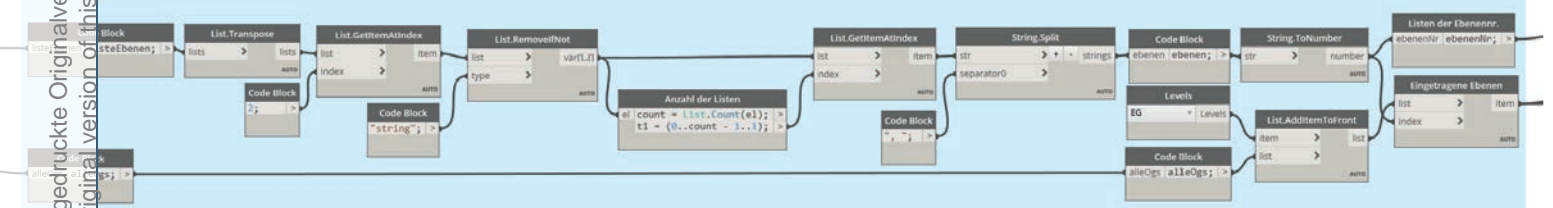
Gruppenname



Nullpunkt

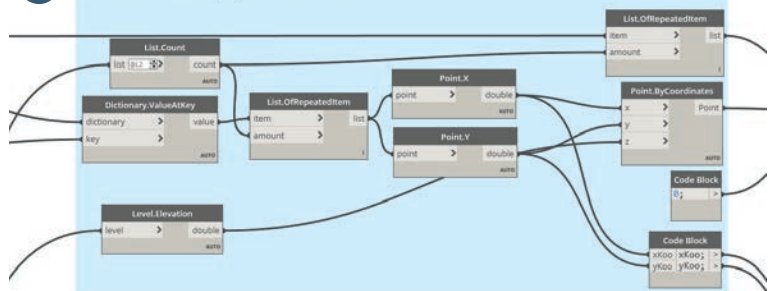


Ebenen



6

Werte für Gruppen umwandeln

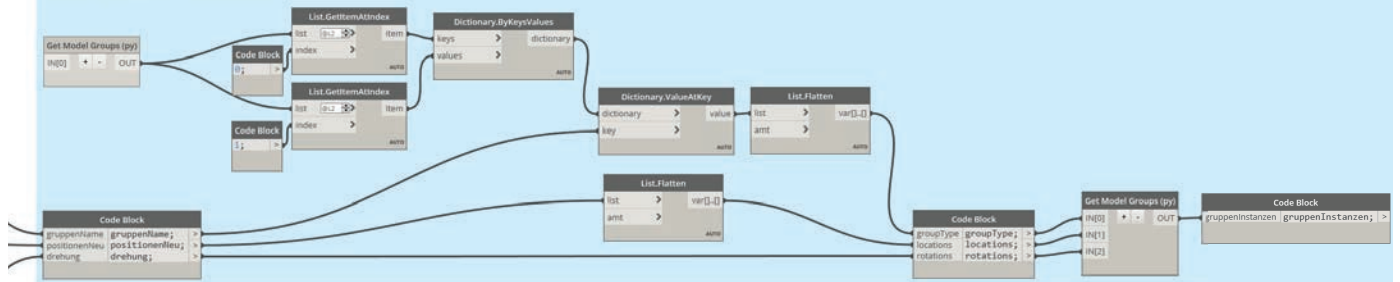


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Anhang 4: Dynamo-Skript – Erschließung generieren

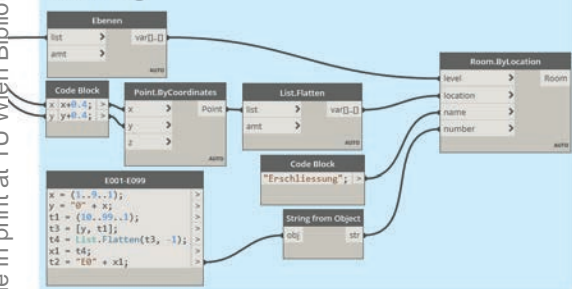
7

Revit Gruppen erstellen



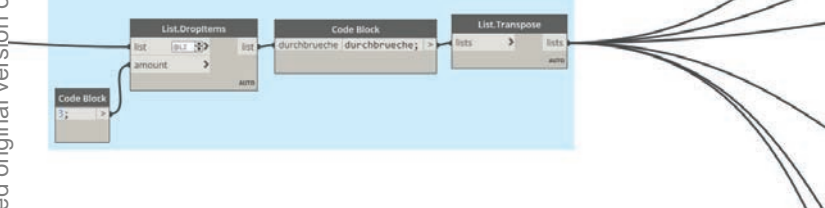
8

Room-Tag



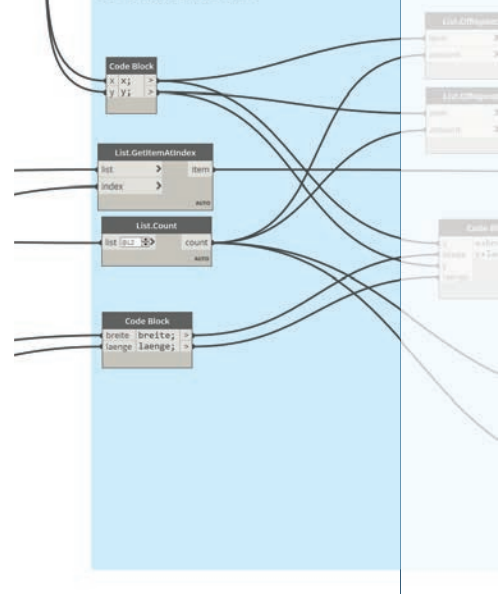
9

DDB-Listen



11

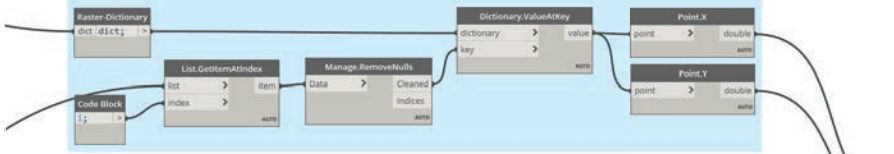
DDB-Rechtecke



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

10

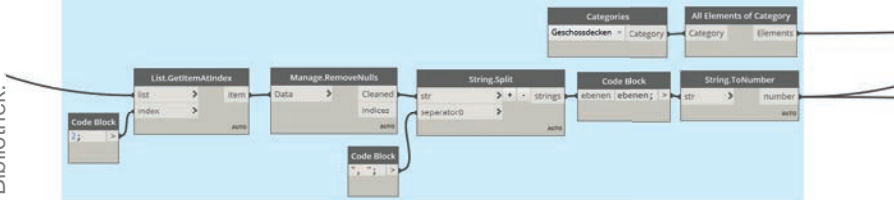
Nullpunkt-Raster



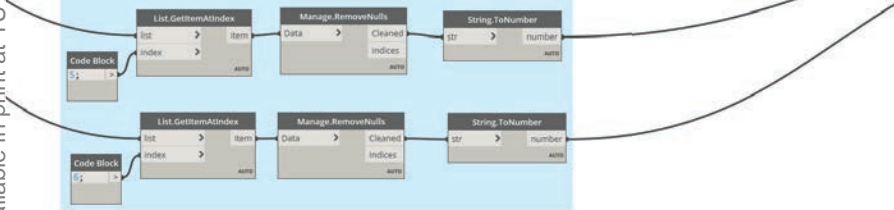
Offsets-DDB



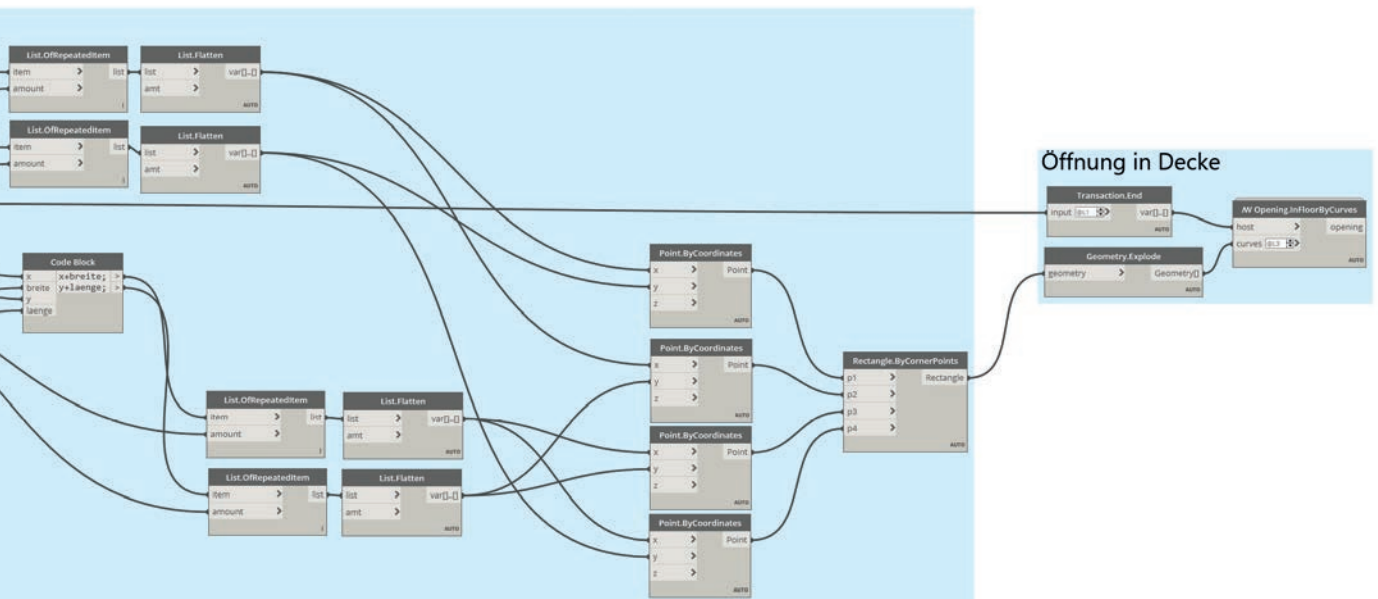
Ebenen-DDB



Abmessung-DDB



11



Die approbierte, gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Anhang 5: Dynamo-Skript – Wohnungen und Fassade generieren

- Teil 1: Generieren und Platzieren der Wohnungsgruppen

- 1 - Ausführen des nachfolgenden Codes wenn Skript 5 ausgewählt ist und Daten aus Excel-Datei importieren
- 2 - Daten aus Excel-Listen (Koordinaten- und Wohnungstabelle) filtern

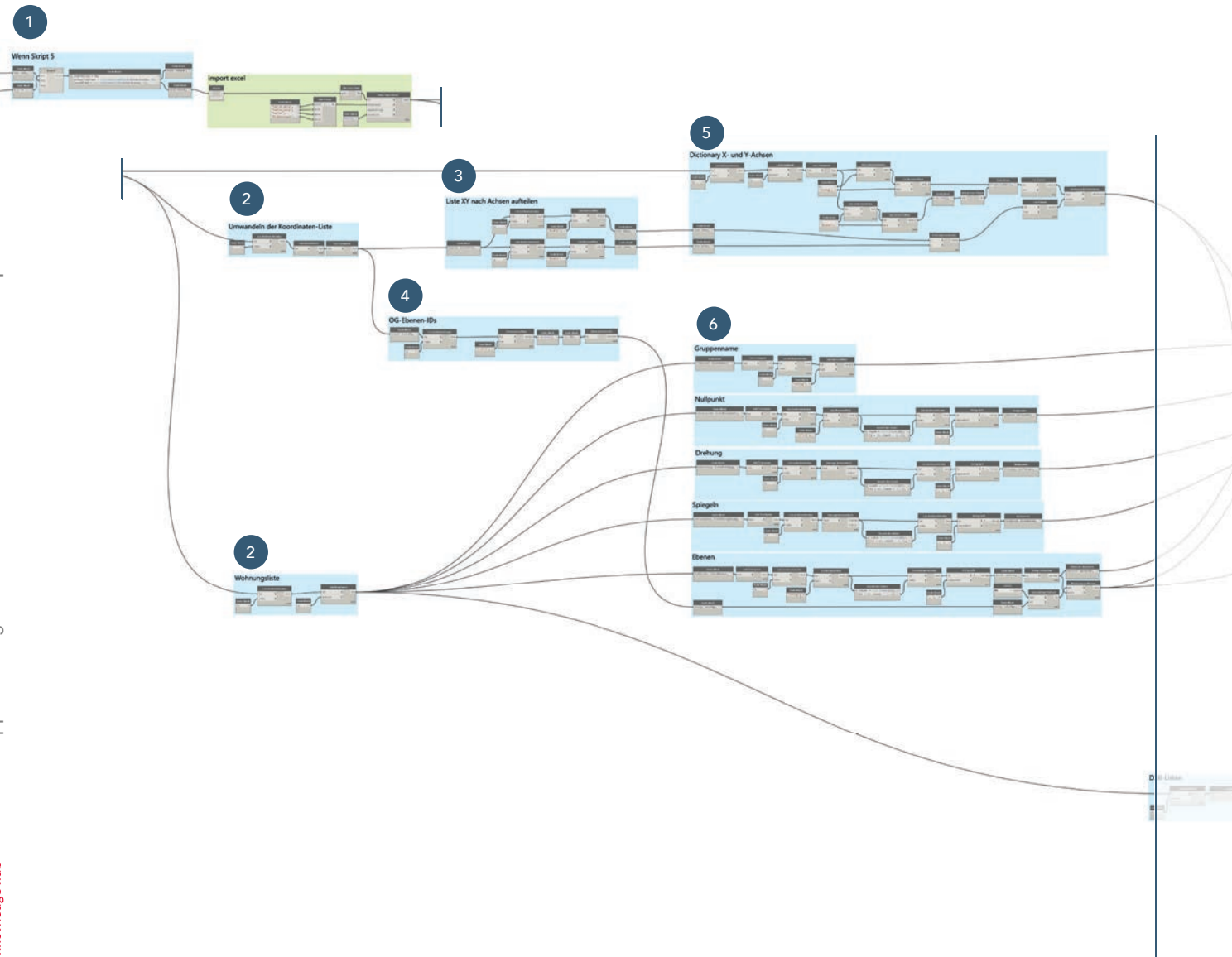
3 - Filtern der Daten in X- und Y-Koordinaten und Ebeneninformationen

4 - Ebenen aus Excel-Daten auswählen

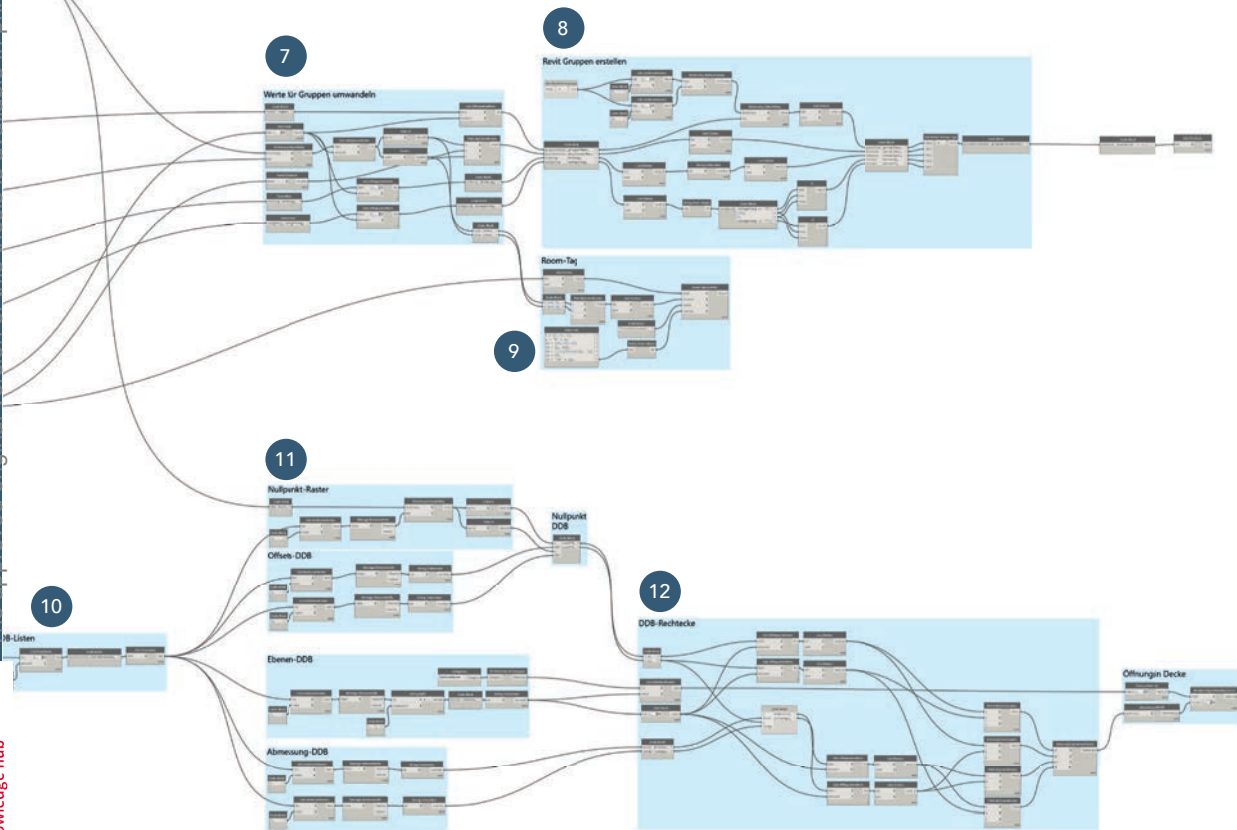
5 - Erstellen eines „Dictionary“ zur Verknüpfung von Koordinaten mit Rasternamen

6 - Auslesen der Informationen der einzelnen Wohnungstypen nach Name, Position (Nullpunkt) und Ebenen und ob diese Typen in einer gedrehten oder gespiegelten Version positioniert werden sollen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



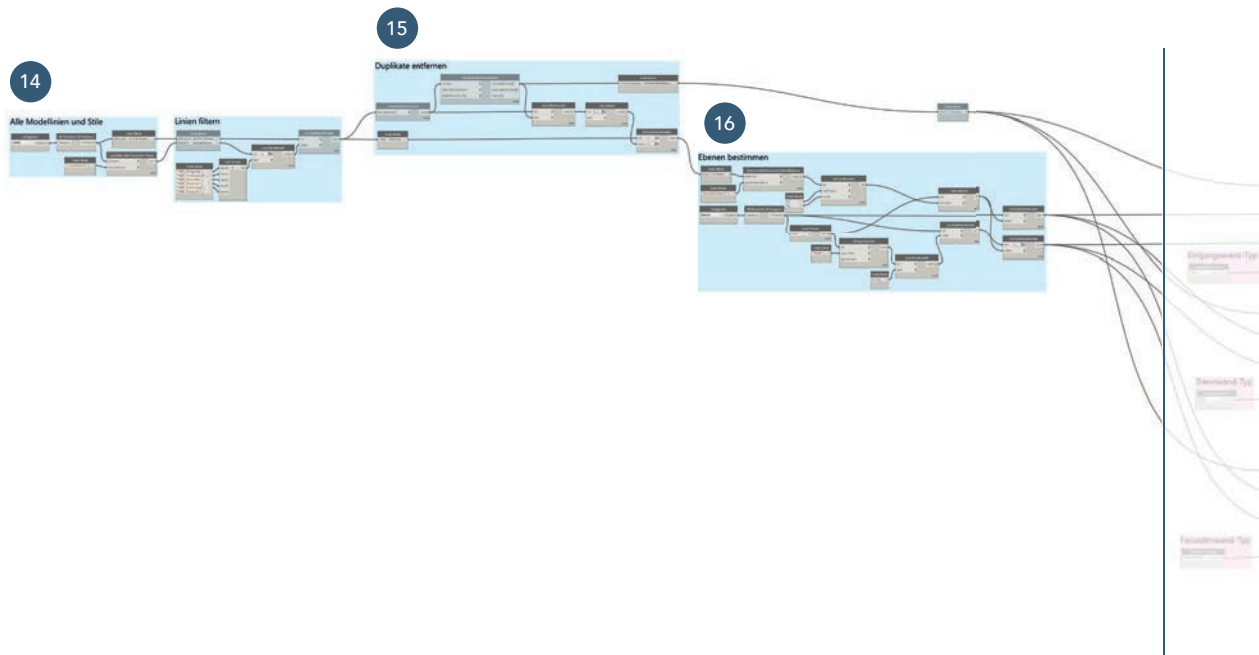
- 7 - Umwandeln der Werte aus (6) um diese den Gruppen in Revit zuzuweisen
- 8 - Instanzen der Revit-Wohnungs-Gruppen erzeugen und positionieren
- 9 - Platzieren eines Raumes mit Raumstempel in jeder Erschließungsgruppe
- 10 - Auslesen der Informationen für eventuelle Deckendurchbrüche für Wohnungsschächte
- 11 - Positionen der Deckendurchbrüche verarbeiten und Koordinaten für Dynamo aufbereiten
- 12 - Rechtecke für Deckendurchbrüche generieren und Geschossdecken in Revit an der jeweiligen Position ausschneiden



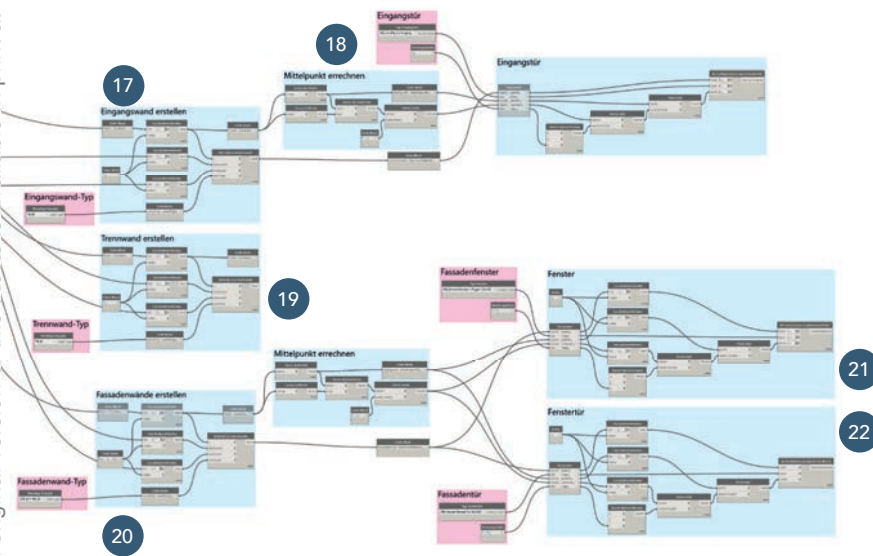
Anhang 5: Dynamo-Skript – Wohnungen und Fassade generieren

- Teil 2: Generieren der Bauteile in Revit aus Liniengruppen

- 14 - Auswählen aller Linien und Linienstile, die in Revit vorhanden sind und filtern nach den relevanten Linientypen
- 15 - Entfernen aller Linien die sich überlappen (Wohnungstrennwände)
- 16 - Auslesen auf welchen Ebenen sich die einzelnen Linien befinden



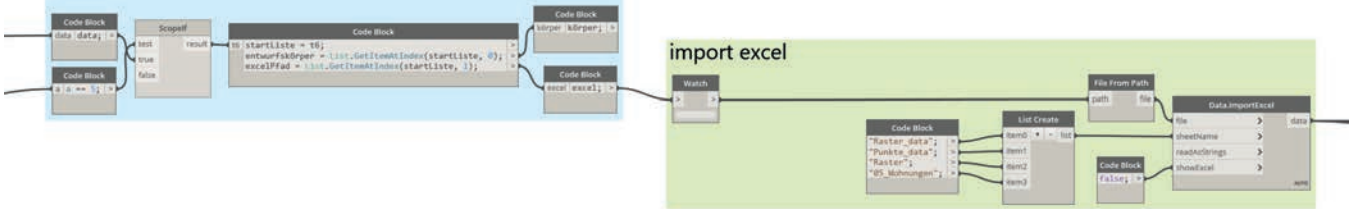
- 17 - Auswahl eines Wand-Typs für die Wohnungswand zum Erschließungstrakt und generieren dieses Typs an allen dafür vorgesehenen Stellen in Revit
- 18 - Errechnen des Mittelpunkts der in (17) erstellten Wände, Auswahl eines Tür-Typs und platzieren dieses Typs mittig an allen Wänden
- 19 - Auswahl eines Wand-Typs für die Wohnungstrennwand zwischen den Wohnungen und generieren dieses Typs an allen dafür vorgesehenen Stellen in Revit
- 20 - Auswahl eines Wand-Typs für die Fassade wand und generieren dieses Typs an allen dafür vorgesehenen Stellen in Revit
- 21 - Auswahl eines Fenster-Typs für die Fassade wand und generieren dieses Typs mittig an allen dafür vorgesehenen Fassade wänden in Revit
- 22 - Auswahl eines Fenstertür-Typs für die Fassade wand und generieren dieses Typs mittig an allen dafür vorgesehenen Fassade wänden in Revit



Anhang 5: Dynamo-Skript – Wohnungen und Fassade generieren

1

Wenn Skript 5

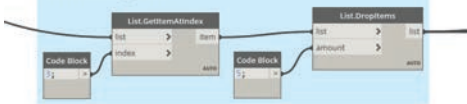


2

Umwandeln der Koordinaten-Liste

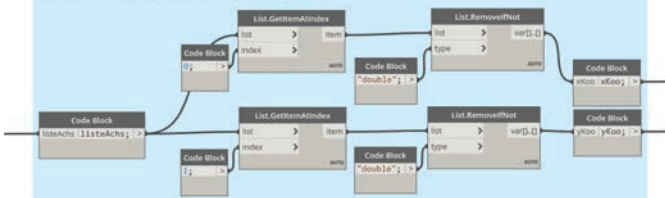


Wohnungsliste



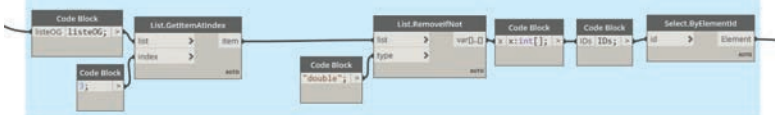
3

Liste XY nach Achsen aufteilen



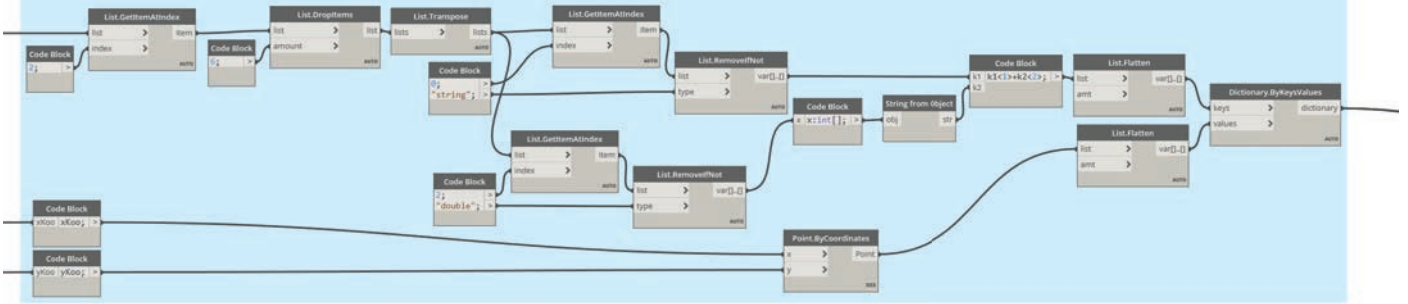
4

OG-Ebenen-IDs



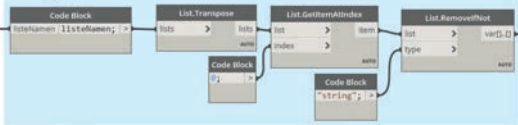
5

Dictionary X- und Y-Achsen



6

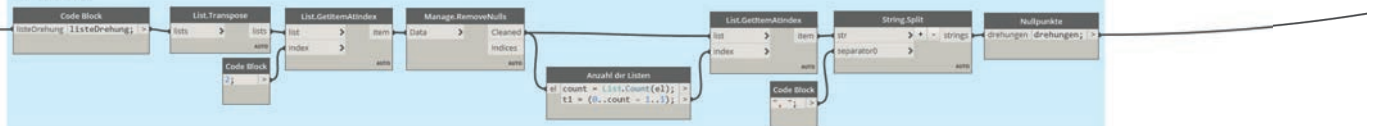
Gruppenname



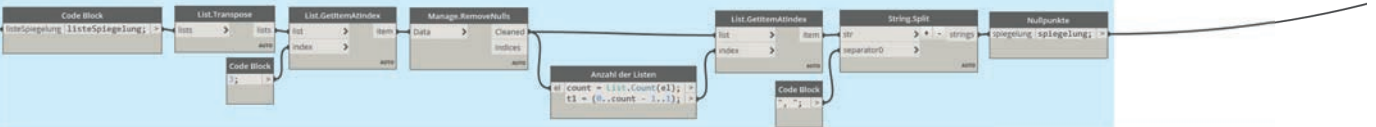
Nullpunkt



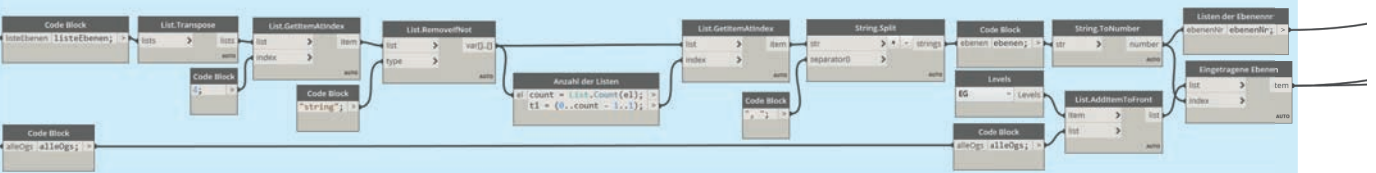
Drehung



Spiegeln



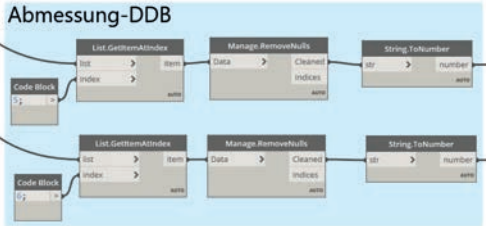
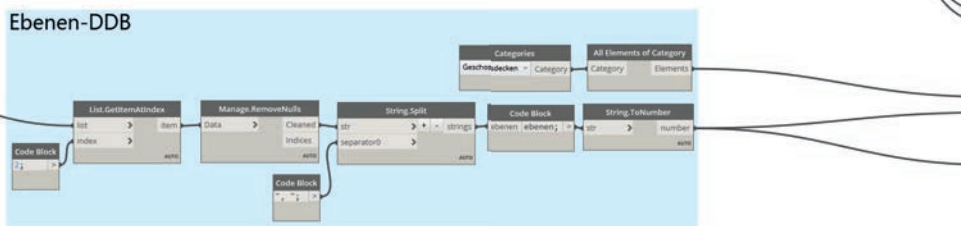
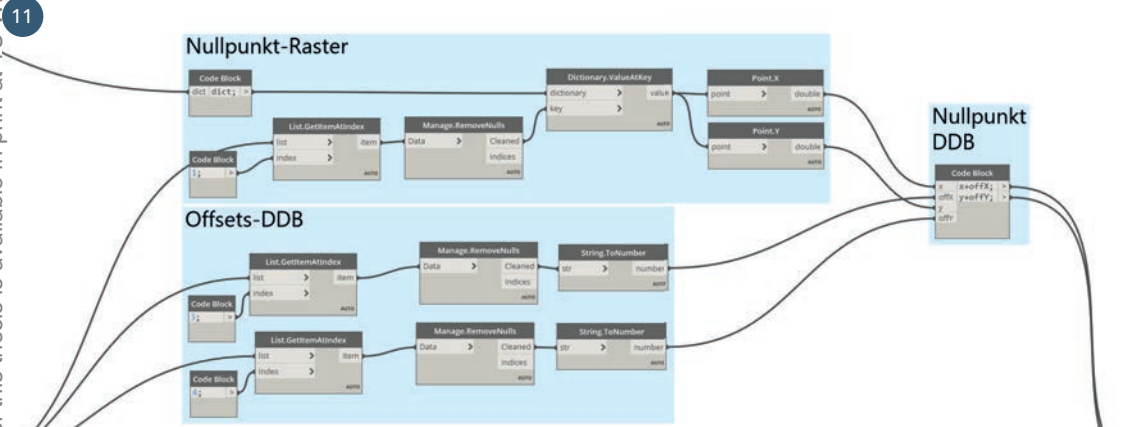
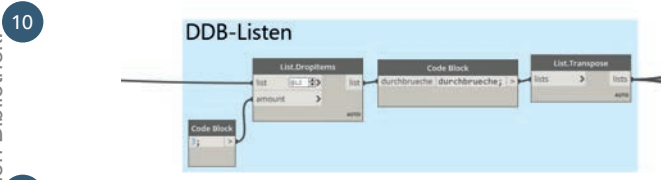
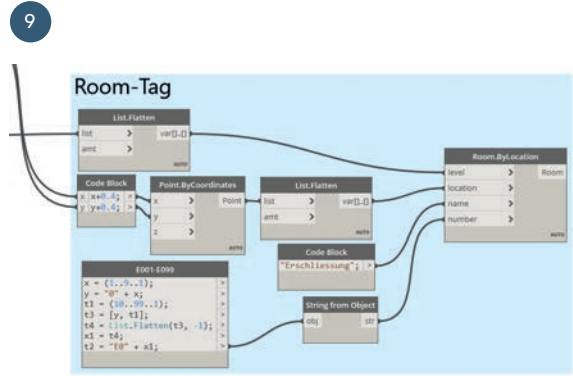
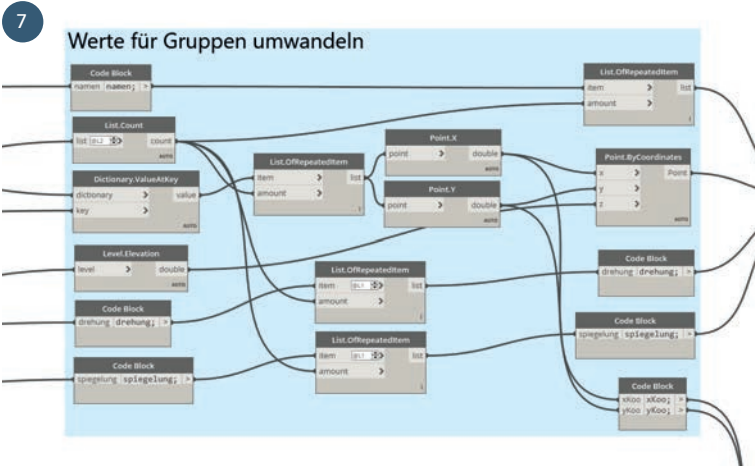
Ebenen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

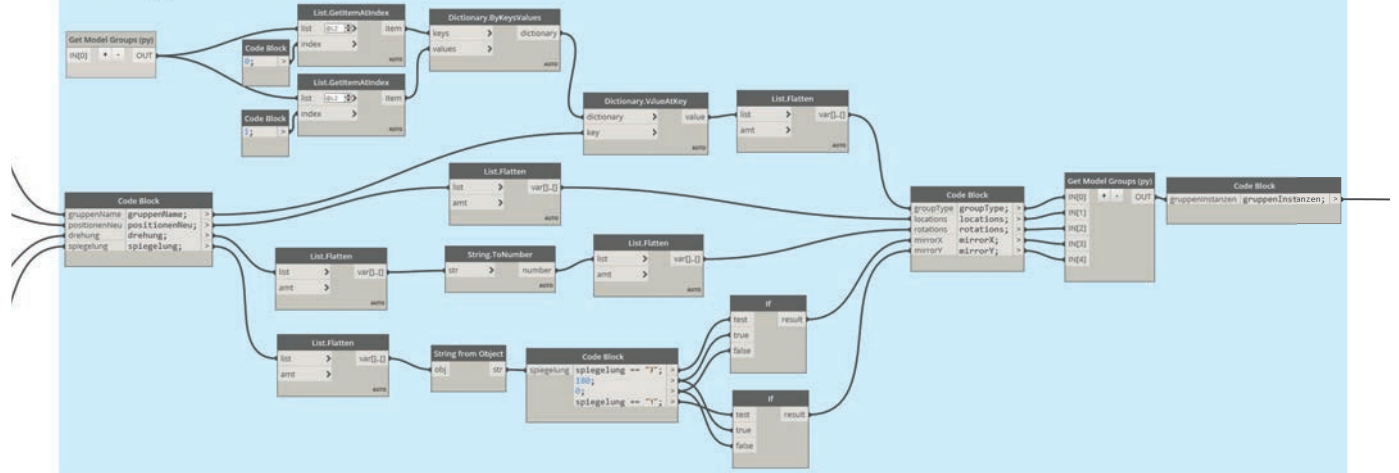
Anhang 5: Dynamo-Skript – Wohnungen und Fassade generieren

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



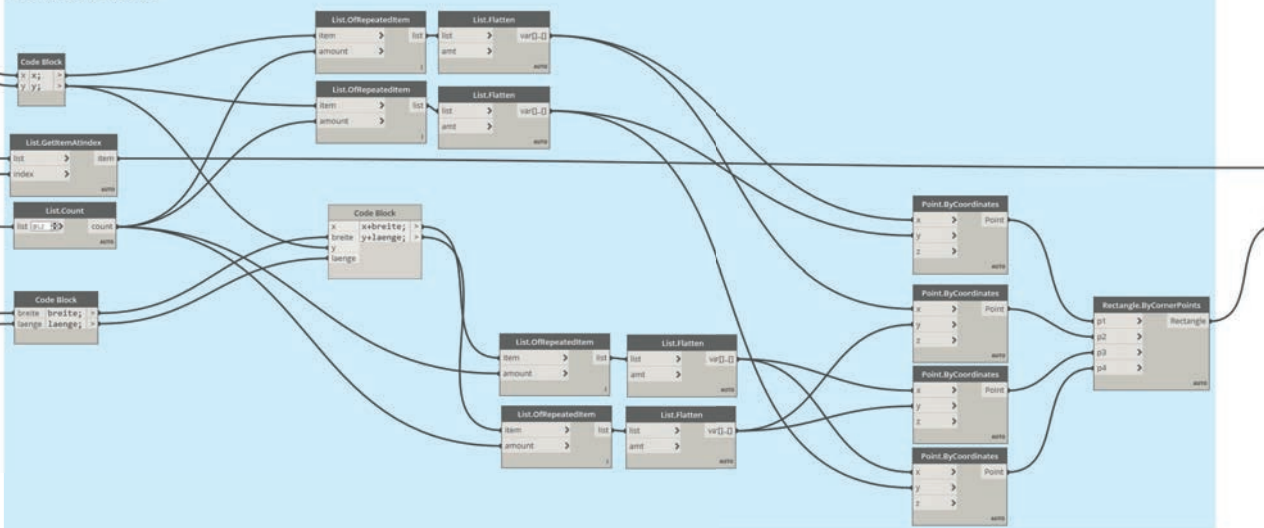
8

Revit Gruppen erstellen

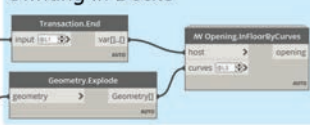


12

DDB-Rechtecke

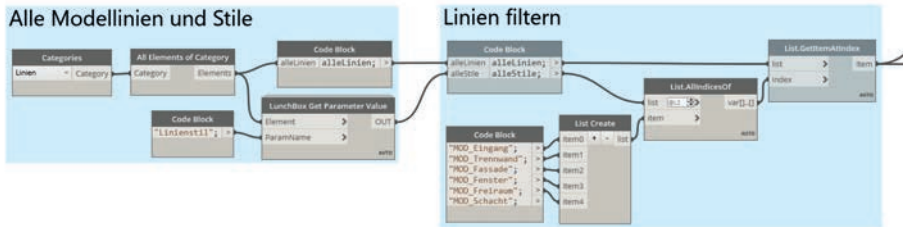


Öffnung in Decke

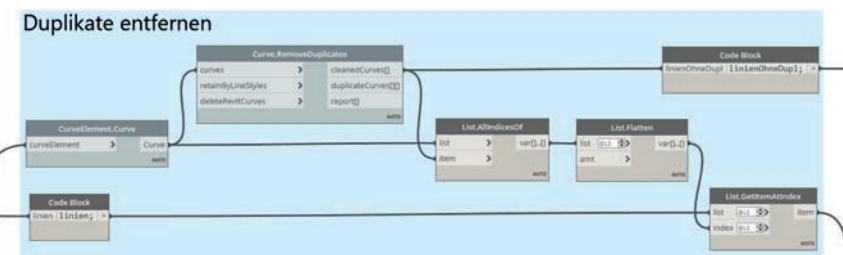


Anhang 5: Dynamo-Skript – Wohnungen und Fassade generieren

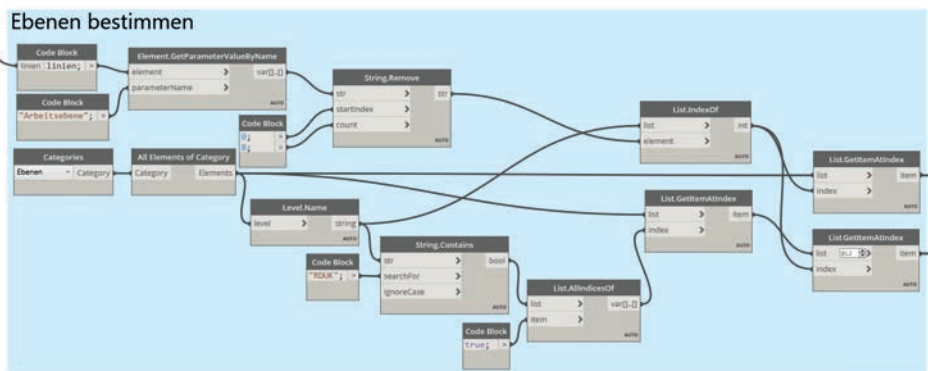
14



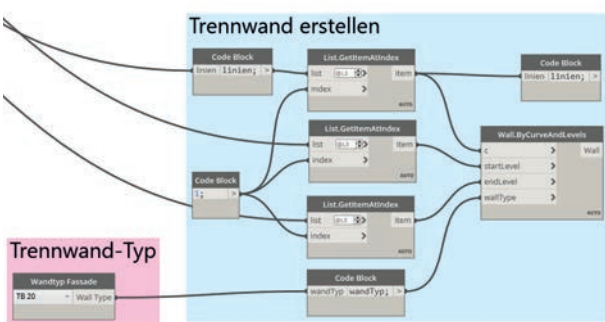
15



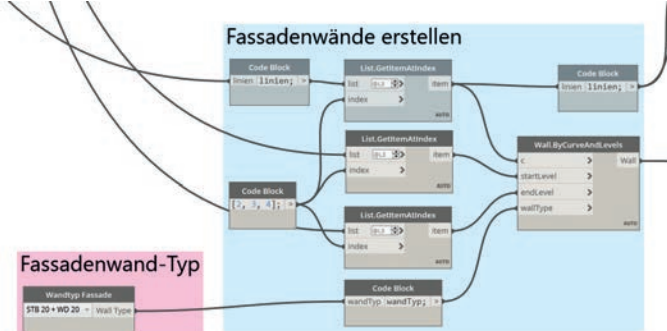
16



19



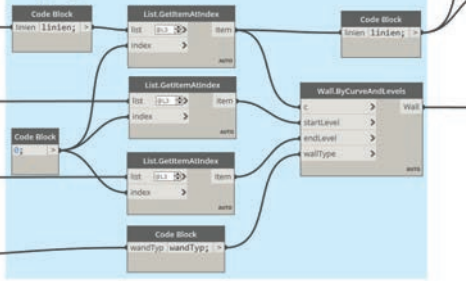
20



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

17

Eingangswand erstellen

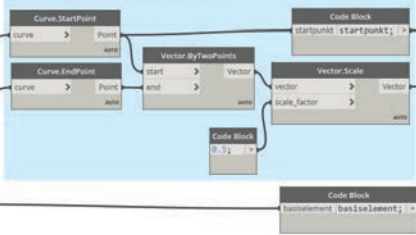


Eingangswand-Typ



18

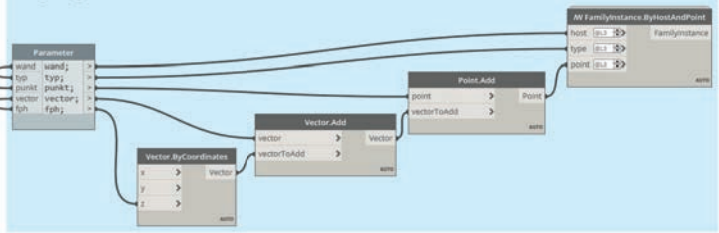
Mittelpunkt errechnen



Eingangstür



Eingangstür

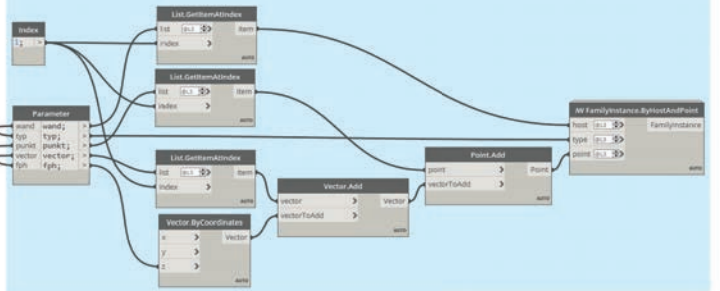


21

Fassadenfenster

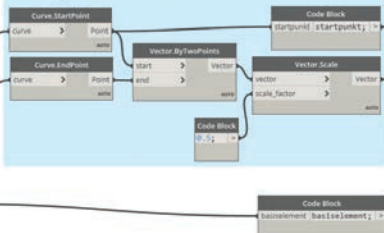


Fenster

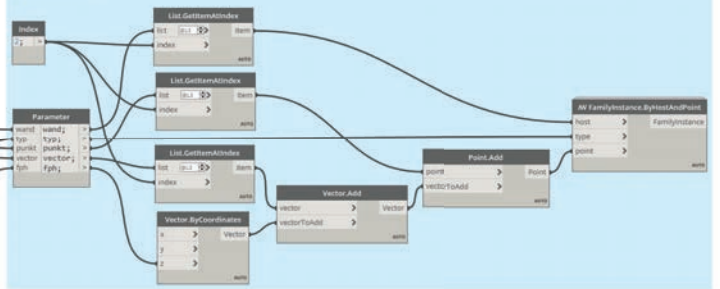


20

Mittelpunkt errechnen



Fenstertür



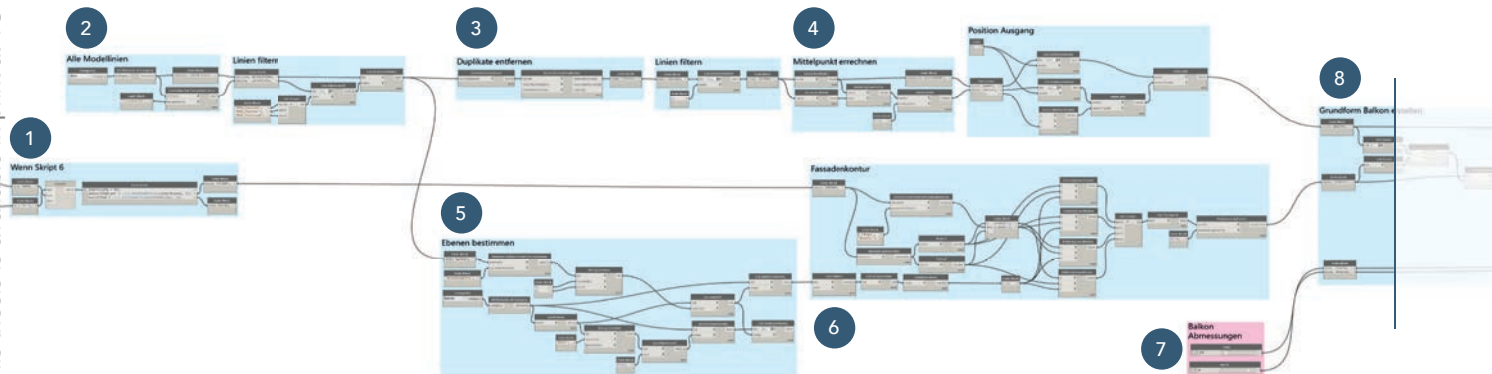
22

Fassadentür

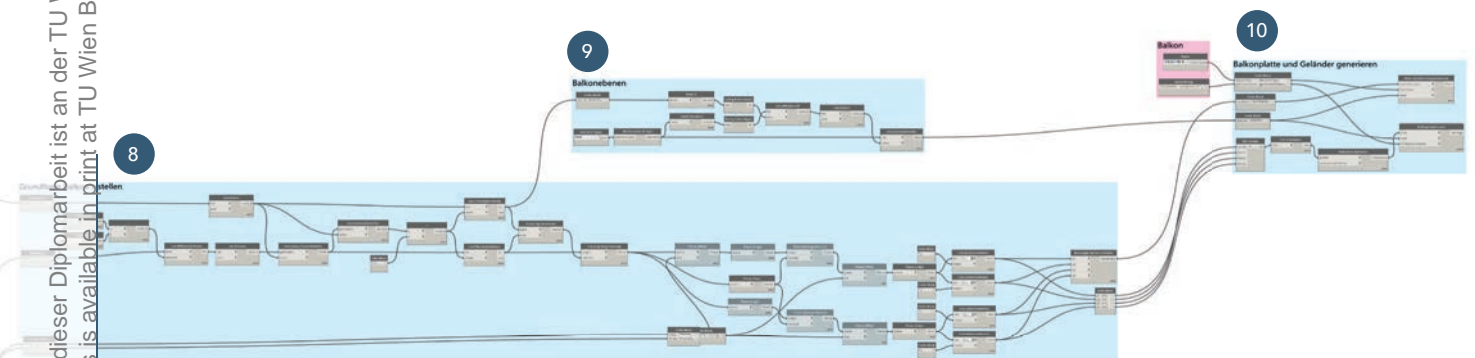


Anhang 6: Dynamo-Skript – Freiräume generieren

- 1 - Ausführen des nachfolgenden Codes wenn Skript 6 ausgewählt ist
- 2 - Auswählen aller Linien und Linienstile, die in Revit vorhanden sind und filtern nach den relevanten Linientypen
- 3 - Entfernen aller Linien die sich überlappen
- 4 - Mittelpunkt der Fassadenwände für Fenstertür auslesen
- 5 - Ebenen aller relevanten Linien bestimmen
- 6 - Fassadenkontur aus Revit-Körper auslesen
- 7 - Dimensionen des Balkons angeben
- 8 - Grundriss Balkon erstellen

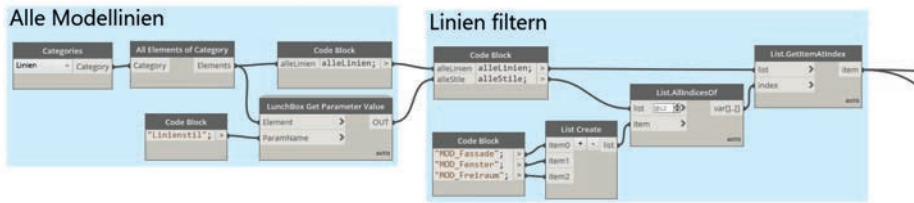


- 8 - Grundform des Balkons generieren
- 9 - Zugehörige Ebenen für Balkonplatten auslesen
- 10 - Eingeben eines Decken-Typs für die Balkonplatte und eines Geländer-Namens für die zu generierenden Balkongeländer



Anhang 6: Dynamo-Skript – Freiräume generieren

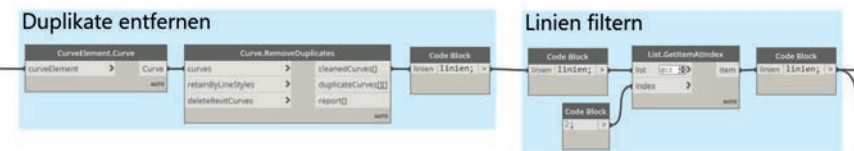
1



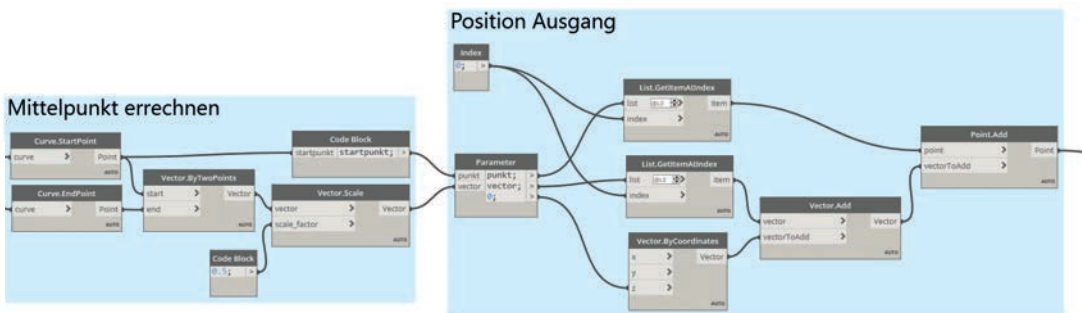
2



3



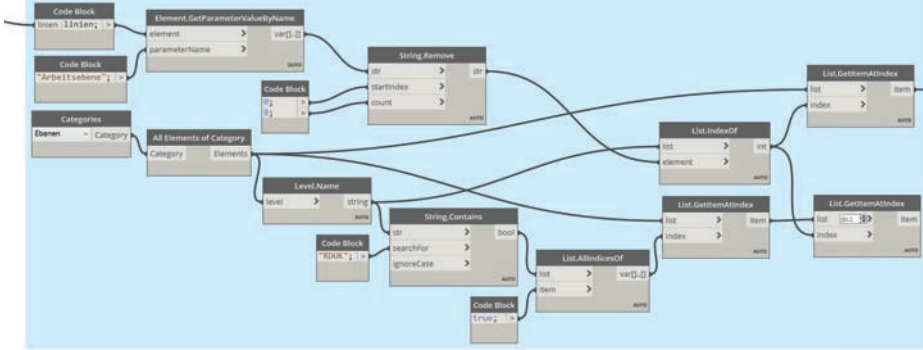
4



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

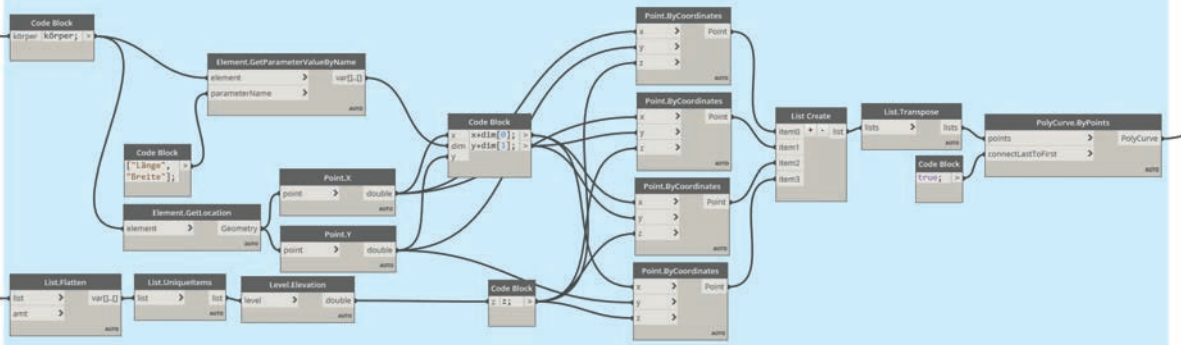
5

Ebenen bestimmen



6

Fassadenkontur



Anhang 6: Dynamo-Skript – Freiräume generieren

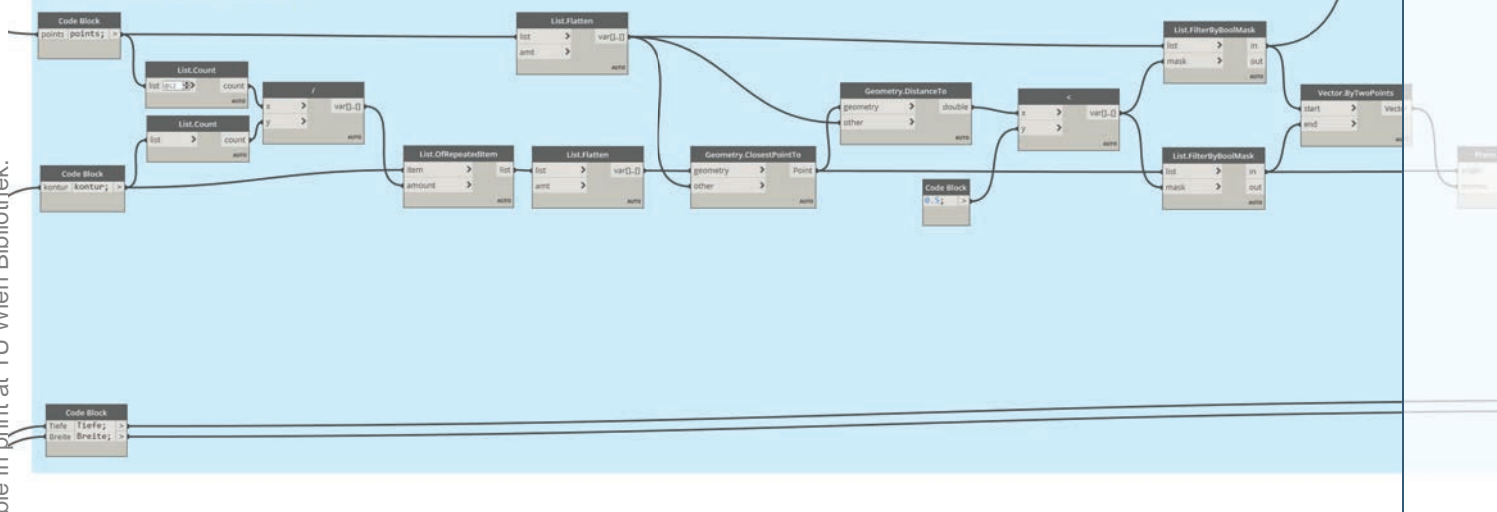
7

Balkon Abmessungen



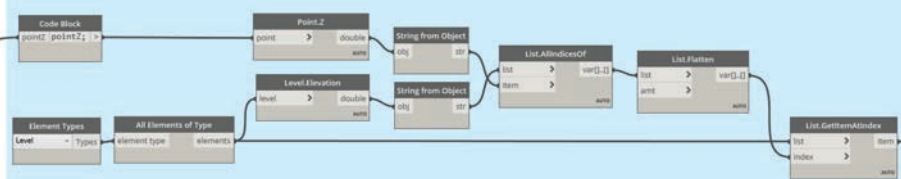
8

Grundform Balkon erstellen



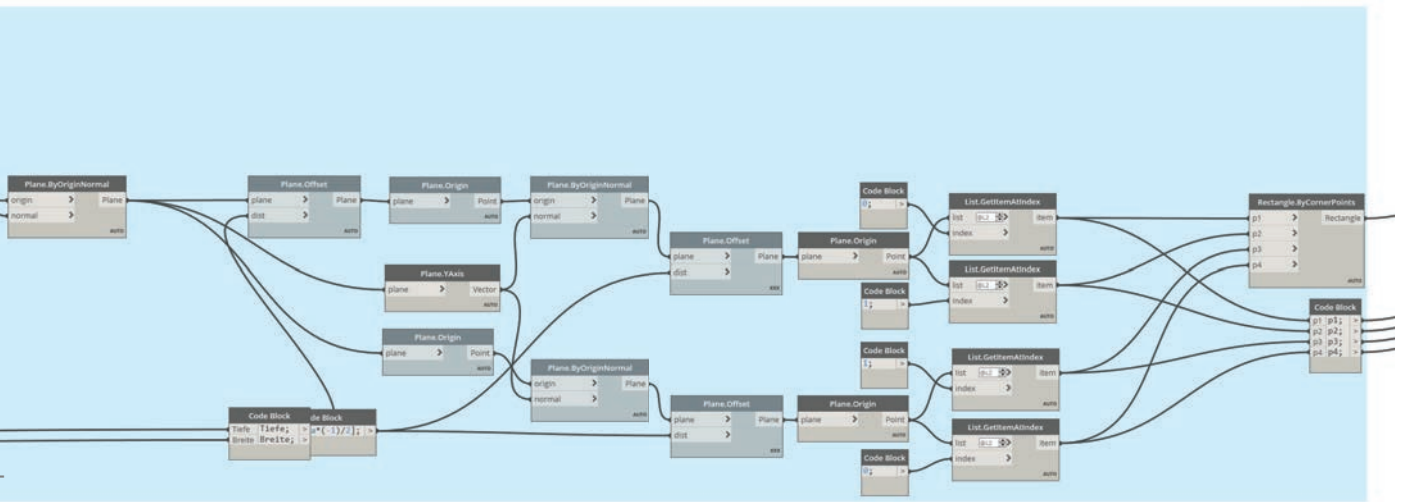
9

Balkonebenen

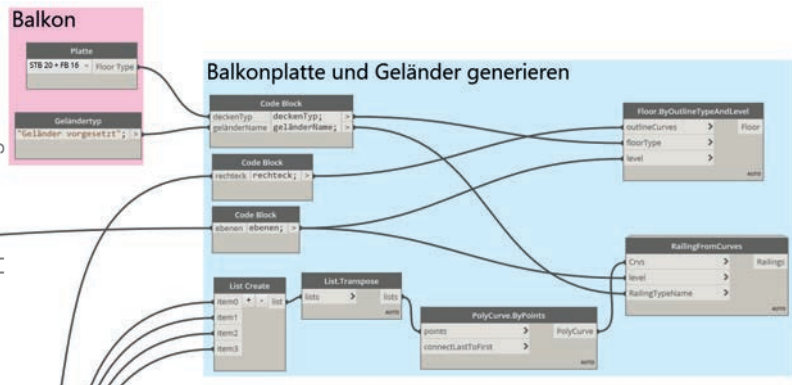


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

8

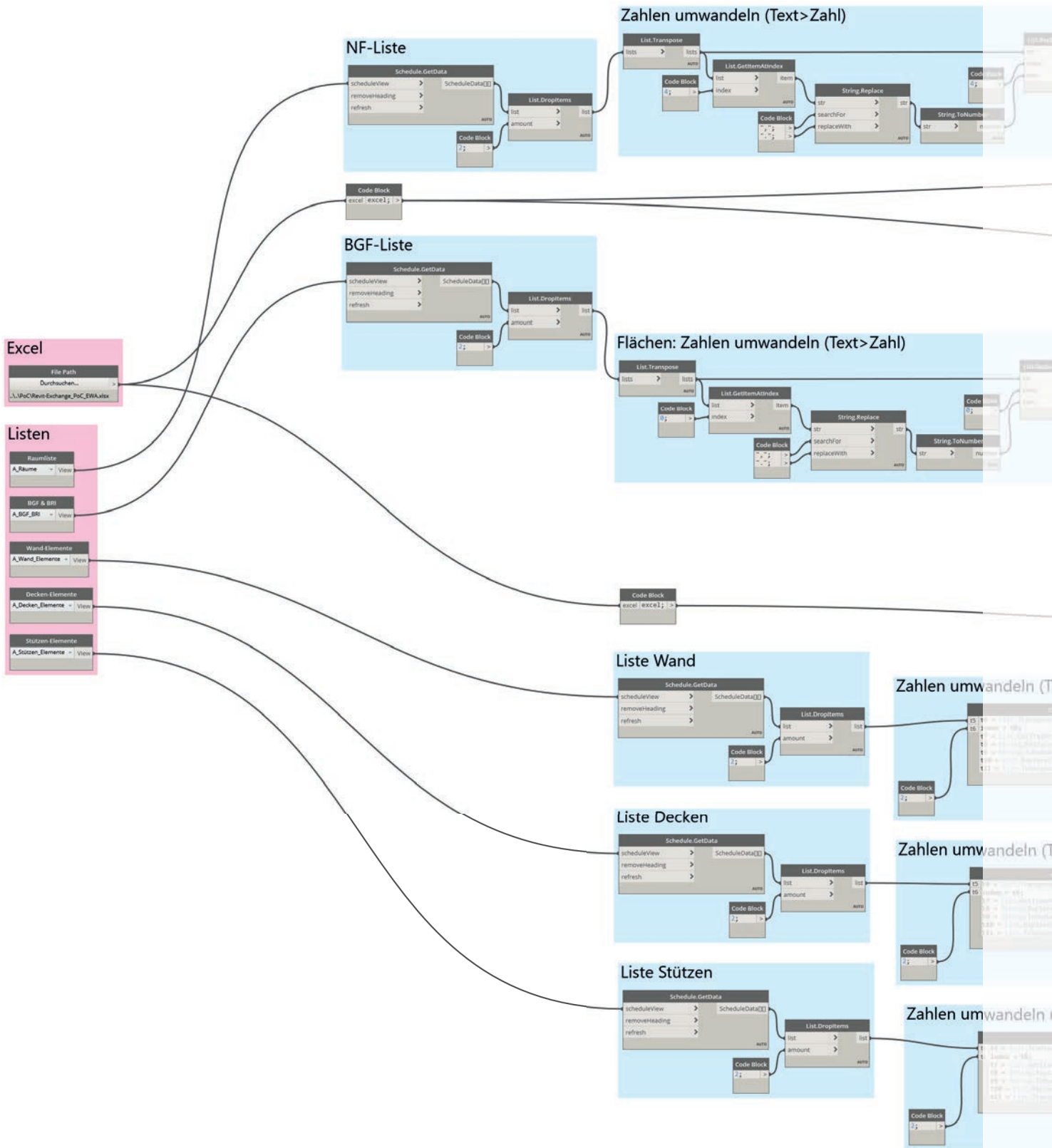


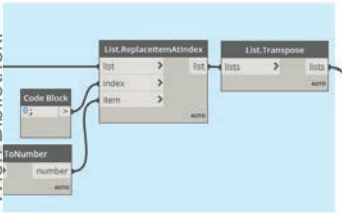
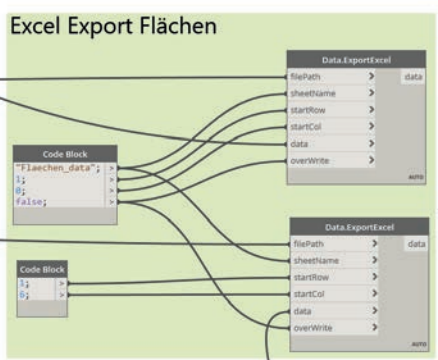
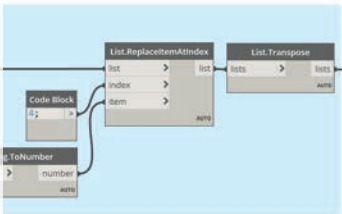
10



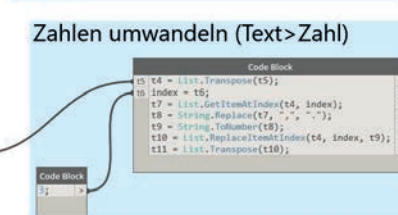
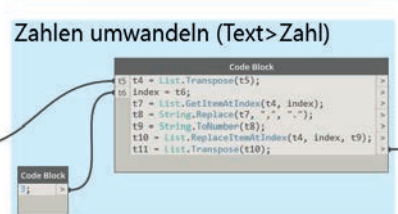
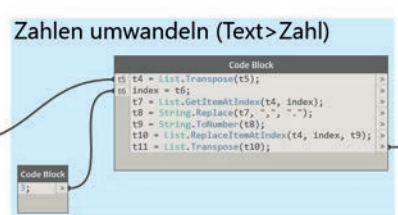
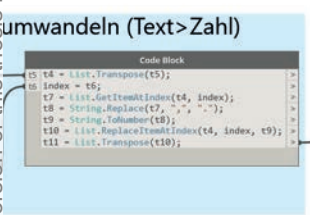
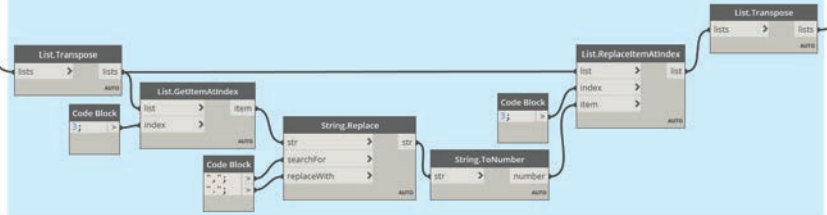
Anhang 7: Dynamo-Skript – Auswertung generieren

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

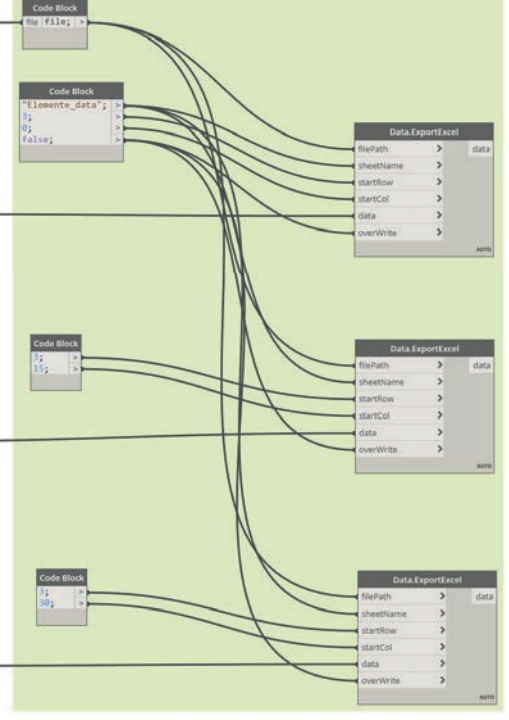




Volumen: Zahlen umwandeln (Text>Zahl)



Excel Export_Bauteile



Anhang 8: Anmerkungen zum Skript in Dynamo

Verwendete Plug-Ins

archi-lab.net	2020.22.9
Archi-lab_Mandrill	2019.2.2
bimorphNodes	3.0.3
Clockwork for Dynamo 2.x	2.1.2
Data-Shapes	2019.2.40
DynamoMEP	0.5.1
spring nodes	203.1.0
SteamNodes	1.2.4

Probleme und Fehlerbehebung

- *Excel-Bausteine blockieren ein erneutes Ausführen des Skripts. (Anhalten und neues Ausführen dieser Bausteine notwendig)*
- *Beim Daten-Import in die Excel-Datei werden zusätzliche leere Sheets geöffnet und nicht mehr geschlossen.*
- *Zugriffsfehler auf die Excel-Datei löst Fehlermeldung in Dynamo aus und blockiert das Skript (Neustart von Dynamo, Excel und Excel-Hintergrund-Tasks notwendig)*
- *Einheitenformat (Punkt oder Komma) muss mit Excel übereinstimmen.*
- *Rasterlinien können nur generiert werden, wenn keine bestehenden Elemente mit gleicher Bezeichnung in Revit vorhanden sind; auch gelöschte Elemente bleiben im System. (Neustart von Dynamo erforderlich)*
- *Python-Skripts werden bei erneutem Ausführen des Skripts nicht berücksichtigt. (Anhalten und neues Ausführen der Bausteine notwendig)*
- *Erstellen der Wände-Elemente entlang der vorgesehenen Linien erfolgt nicht immer nach den richtigen Geschossen. (Löschen der Wandelemente und Neustart von Dynamo notwendig)*

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Würfelmole als Grundlage der Gebäudestruktur; aus Albert Farwell Bernis „The Evolving House: Volume III: Rational Design“	15
Abb. 2:	Axometrie der Konstruktionselemente im Projekt Wohnregal (FAR frohn&rojas architekten)	18
Abb. 3:	Freier Grundriss durch vorgespannte Deckenplatten im Projekt Wohnregal (FAR frohn&rojas architekten)	18
Abb. 4:	Wohnregal Außenansicht (FAR frohn&rojas architekten; Foto: David von Becker)	18
Abb. 5:	Wohnregal Innenraum (FAR frohn&rojas architekten; Foto: David von Becker)	18
Abb. 6:	Potential zur Kosteneinsparung in frühen Planungsphasen (Barton et al, 2001)	21
Abb. 7:	BIM Maturity Model (Bew und Richards, 2008)	22
Abb. 8:	Dynamo Benutzeroberfläche (Web URL < https://primer.dynamobim.org/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-2_wiring_programs.html >, 13.11.2019)	25
Abb. 9:	Adaptiver Wohnungsgrundriss mit Finch3D	26
Abb. 10:	Arbeitsoberfläche mit Finch in Rhinoceros 3D und Grasshopper (Web URL < https://www.youtube.com/watch?v=X8tQ2XXt5w0 >, 02.10.2019)	26
Abb. 11:	Arbeitsoberfläche Eva (Web URL < http://www.rapidlayouting.com/de/features/program >, 02.10.2019)	26
Abb. 12:	Prozess-Schritte des Rahmenwerks	33
Abb. 13:	Element-Hierarchie von Revit (Web URL < www.primer.dynamobim.org/de/08_Dynamo-for-Revit/images/8-2/hierarchy.jpg >, 12.10.2019)	37
Abb. 14:	Bausteinsystem in Dynamo	38
Abb. 15:	Software-Ablauf von ALBIS	39
Abb. 16:	Schematische Darstellung des Entwurfsprozesses mit und ohne ALBIS	40
Abb. 17:	Raster-Elemente und Grundstruktur	44
Abb. 18:	Konstruktions-Elemente	45

Abb. 19:	Erschließungstyp: Punktförmig	46
Abb. 20:	Erschließungstyp: Innengang (oben) und Laubengang (unten)	46
Abb. 21:	Erschließungstyp: Mehrgeschossig	46
Abb. 22:	Parameter der Erschließung	47
Abb. 23:	Parameter der Wohnung	49
Abb. 24:	Fassaden-Elemente	50
Abb. 25:	Arten des privaten Freiraums	51
Abb. 26:	Workflow-Diagramm: Modell generieren (1–3)	52
Abb. 27:	Workflow-Diagramm: Modell generieren (4–6)	54
Abb. 28:	Geschossbezogene Grundflächen (ÖNORM B 1800, 2013)	59
Abb. 29:	HWB und Energieklassen (OIB Richtlinie 6, 2015)	60
Abb. 30:	TQB-Bewertungstool: Kriterien der Flexibilität und Dauerhaftigkeit (Web URL < https://www.oegnb.net/zertifikat.htm?typ=wb&sop=7583,7615,7585,7652 >, 15.02.2020)	62
Abb. 31:	Workflow-Diagramm: Auswertung generieren	65
Abb. 32:	Schematische Darstellung des algorithmischen Skripts ALBIS	67
Abb. 33:	Schematische Darstellung des Workflows von Schritt 1 mit den erforderlichen Parametern zur Erstellung des algorithmischen BIM-Modells	70
Abb. 34:	Schritt 1 bis 3 des Workflows: Arbeitsumgebung, Grundgerüst und Konstruktion	73
Abb. 35:	Schritt 4 des Workflows: Erschließung	75
Abb. 36:	Schritt 5 und 6 des Workflows: Wohnungen und Fassade	77
Abb. 37:	Schritt 7 des Workflows: private Freiräume	79
Abb. 38:	Schematische Darstellung des Workflows von Schritt 2 mit den erforderlichen Parametern zur Auswertung des parametrischen BIM-Modells	80
Abb. 39:	Flächenbewertung durch Flächenlisten und Kalkulation der Verhältnisse	83
Abb. 40:	Auswertung des Heizwärmebedarfs mittels extern erstelltem Energieausweis (exemplarisch erstellt)	84

Abb. 41:	Auswertung der Kosten über Bauteillisten und Element-Preise	85
Abb. 42:	Auswertung der Flexibilität mittels Kriterien des TQB-Katalogs	86
Abb. 43:	Bewertung der Vorfertigung anhand des Vorfertigungsgrads und des Volumens der Elemente	86
Abb. 44:	Gesamtauswertung aller Kriterien	87
Abb. 45:	Schematische Darstellung der vergleichenden Fallstudie	90
Abb. 46:	Bauplatz und Umgebung	93
Abb. 47:	Projekt A: Planunterlagen (Web URL < https://www.nextroom.at/building.php?id=39436&inc=plan >, 14.12.2019)	94
Abb. 48:	Projekt A: Planunterlagen Schnitt (Web URL < https://www.nextroom.at/building.php?id=39436&inc=plan&sid=7828 >, 14.12.2019)	96
Abb. 49:	Projekt A: Nutzungsbereiche	96
Abb. 50:	Projekt A mit ALBIS 01: Körper und Bauplatz 1:500	98
Abb. 51:	Projekt A mit ALBIS 02: Raster und Dimensionen 1:500	98
Abb. 52:	Projekt A mit ALBIS 02: Raster in Excel	100
Abb. 53:	Projekt A mit ALBIS 03: Konstruktion in Excel	100
Abb. 54:	Projekt A mit ALBIS 03: tragende Elemente im EG 1:500	101
Abb. 55:	Projekt A mit ALBIS 03: Axonometrie der tragenden Elemente	101
Abb. 56:	Projekt A mit ALBIS 04: Erschließungsmodule und Deckendurchbrüche in Excel	102
Abb. 57:	Projekt A mit ALBIS 04: Grundriss 3.OG 1:500	102
Abb. 58:	Projekt A mit ALBIS 04: Ansicht Laubengang 1:500	102
Abb. 59:	Projekt A mit ALBIS 04: Axonometrie mit Erschließung	103
Abb. 60:	Projekt A mit ALBIS 05: Grundriss mit Linien-Grundrissen 3.OG 1:500	104
Abb. 61:	Projekt A mit ALBIS 05: Wohnungsmodule in Excel	104
Abb. 62:	Projekt A mit ALBIS 05: Grundriss der Wohnungen 3.OG 1:500	104
Abb. 63:	Projekt A mit ALBIS 05: Axonometrie mit Wohnungen und Fassade	105

Abb. 64:	Projekt A mit ALBIS 07: Grundriss mit Balkonen vor und nach der Anpassung 3.OG 1:500	106
Abb. 65:	Projekt A mit ALBIS 07: Ansicht mit Balkonen	106
Abb. 66:	Projekt A mit ALBIS 07: Axonometrie mit Balkonen	107
Abb. 67:	Projekt A mit ALBIS: EG (unten) und DG (oben) mit manuellen Ergänzungen 1:500	108
Abb. 68:	Projekt A mit ALBIS: Axonometrie mit manuellen Ergänzungen	108
Abb. 69:	Projekt A mit ALBIS: Axonometrie des abgeschlossenen Modells	109
Abb. 70:	Projekt A mit ALBIS: Summen der Flächen aus dem BIM-Modell	110
Abb. 71:	Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Flächen	110
Abb. 72:	Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Energieeffizienz	111
Abb. 73:	Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Flexibilität	112
Abb. 74:	Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Kosten	113
Abb. 75:	Projekt A mit ALBIS: Tabellen der Kosten und Vorfertigungsgrade je Element-Typ	113
Abb. 76:	Projekt A mit ALBIS: Auswertung der Vorfertigung	114
Abb. 77:	Projekt A mit ALBIS: Gesamtbewertung	114
Abb. 78:	Grundlagen von Projekt B (BIM-Modell und Grundrisse 1:500)	116
Abb. 79:	Projekt B mit ALBIS 01: Axonometrie Körper und Umgebung	118
Abb. 80:	Projekt B mit ALBIS 02: Axonometrie Körper angepasst durch ALBIS	118
Abb. 81:	Projekt B mit ALBIS 02: Raster in Excel	120
Abb. 82:	Projekt B mit ALBIS 02: Raster und Dimensionen 1:500	120
Abb. 83:	Projekt B mit ALBIS 03: Excel-Tabelle	121
Abb. 84:	Projekt B mit ALBIS 03: Grundriss EG 1:500	122
Abb. 85:	Projekt B mit ALBIS 03: Schnitt 1:500	122
Abb. 86:	Projekt B mit ALBIS 03: Grundriss 3.OG 1:500	123
Abb. 87:	Projekt B mit ALBIS 03: Axonometrie Tragwerk	123
Abb. 88:	Projekt B mit ALBIS 04: Grundriss 3.OG 1:500	124
Abb. 89:	Projekt B mit ALBIS 04: Grundriss EG 1:500	124

Abb. 90:	Projekt B mit ALBIS 04: Excel-Tabelle	125
Abb. 91:	Projekt B mit ALBIS 04: Schnitt 1:500	125
Abb. 92:	Projekt B mit ALBIS 05: Excel-Tabelle Wohnungsmix	126
Abb. 93:	Projekt B mit ALBIS 05: Linien-Module Grundriss 3.OG 1:500	126
Abb. 94:	Projekt B mit ALBIS 05: Excel-Tabelle Wohnungsmodule	127
Abb. 95:	Projekt B mit ALBIS 05: Wohnungselemente Grundriss 3.OG 1:500	128
Abb. 96:	Projekt B mit ALBIS 05: Schnitt 1:500	128
Abb. 97:	Projekt B mit ALBIS 05: Axonometrien mit Wohnungselementen und Fassade	129
Abb. 98:	Projekt B mit ALBIS 07: Dynamo Parameter Balkon	130
Abb. 99:	Projekt B mit ALBIS 07: generierte Balkone und deren manuelle Verschiebung	130
Abb. 100:	Projekt B mit ALBIS 07: Ansicht 1:500	130
Abb. 101:	Projekt B mit ALBIS 07: Axonometrie des generierten 3D-Modells	131
Abb. 102:	Projekt B mit ALBIS: Axonometrie des generiertes Modells inklusive manueller Ergänzungen	132
Abb. 103:	Projekt B mit ALBIS: Axonometrie des abgeschlossenen Modells	133
Abb. 104:	Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Flächen	134
Abb. 105:	Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Energieeffizienz	134
Abb. 106:	Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Flexibilität	135
Abb. 107:	Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Kosten	136
Abb. 108:	Projekt B mit ALBIS: Tabellen der Kosten und Vorfertigungsgrade je Element-Typ	136
Abb. 109:	Projekt B mit ALBIS: Auswertung der Vorfertigung	137
Abb. 110:	Projekt B mit ALBIS: Gesamtbewertung	138
Abb. 111:	Zeitaufwand mit ALBIS	140
Abb. 112:	Erkenntnisse der Fallstudie	145
Abb. 113:	Potentiale und Defizite eines Algorithm-Aided BIM Skripts	151

Literaturverzeichnis

- Aish, R., 2013. First Build Your Tools. *Insid. Smartgeometry Expand. Archit. Possibilities Comput. Des.* 9781118522, 36–49. <https://doi.org/10.1002/9781118653074.ch2>
- Barton, J.A., Love, D.M., Taylor, G.D., 2001. Evaluating design implementation strategies using enterprise simulation. *Int. J. Prod. Econ.* 72, 285–299. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00164-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00164-X)
- Benze, A., Gill, J., Hebert, S., 2019. *Serieller Wohnungsbau - Standardisierung der Vielfalt.* Berlin.
- Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten, 2002. *Honorarordnung für Architekten HOA.* Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten.
- Caetano, I., Leitão, A., 2019. Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. *J. Comput. Des. Eng.* 6, 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.11.004>
- Eastman, C.M., Teicholz, P.M., Sacks, R., Lee, G., 2011. *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.*
- Ebner, P., Herrmann, E., Röllbacher, R., Kuntscher, M., Wietzorrek, U., 2009. *Typologie+ : innovativer Wohnungsbau.* Basel Birkhäuser.
- Feist, S., Barreto, G., Ferreira, B., Leitão, A., 2016. Portable generative design for building information modelling. *CAADRIA 2016, 21st Int. Conf. Comput. Archit. Des. Res. Asia - Living Syst. Micro-Utopias Towar. Contin. Des.* 147–156.
- Feist, S., 2016. *A-BIM : Algorithmic-based Building Information Modelling.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25863.09120>
- FFG Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, 2018. *WOHNEN 4.0 – DIGITALE PLATTFORM FÜR LEISTBARES WOHNEN.*
- Humppi, H., Österlund, T., 2016. Algorithm-Aided BIM. *Complex. Simplicity - Proc. 34th eCAADe Conf.* 2, 601–609.
- International Housing Service, 1958. *Ideas and Methods Exchange – Modular Measure.*
- Keck, H., 2017. *Grundrisskonzeptionen im Wohnbau.*

- Kempe, A., Thill, O., 2012. Atelier Kempe Thill. Atelier Kempe Thill, Ostfildern.
- Knaack, U., Chung-Klatte, S., Hasselbach, R., 2012. Systembau – Prinzipien der Konstruktion. Birkhäuser Verlag, Basel.
- KOEN TU-Graz, 2020. Modulbauweise [WWW Document]. URL <http://intensified-density.org/project/modulbauweise> (Zugegriffen am 6.3.2020).
- Lauer, M., 2016. Schnell, flexibel, qualitativ. DBZ - Dtsch. Bauzeitschrift 1–6.
- Lechner, H., Heck, D., 2014. LM.VM Leistungsmodell – Objektplanung Architektur. Technische Universität Graz.
- Leitão, A., Santos, L., 2011. Programming Languages for Generative design - Visual or Textual? Respect. Fragile Places (29th eCAADe Conf. Proceedings) 549–557.
- Menzies, T., 2002. Evaluation Issues for Visual Programming Languages. Handb. Softw. Eng. Knowl. Eng. 2, 93–101.
- Meuser, N., Meuser, P., 2018. Zehn Parameter für einen kostengünstigen Wohnungsbau – Ein Leitfaden, Wohnraumversorgung Berlin. Wohnraumversorgung Berlin, Berlin. <https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- Meuser, P., Albus, J., Belov, A., Kuznetsova, S., 2019. Industrieller Wohnungsbau: Handbuch und Planungshilfe.
- Osterloh, M., Frost, J., 2006. Prozessmanagement als Kernkompetenz, Prozessmanagement als Kernkompetenz. Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9349-6>
- Österlund, T., 2013. Design possibilities of emergent algorithms for adaptive lighting system. Nord. J. Archit. Res. 159–184.
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, n.d. TQB Gebäudebewertung [WWW Document]. URL <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/oegnb-tqb/> (Zugegriffen am 13.1.2020).
- Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019. OIB-Richtlinie 6.
- Österreichisches Normungsinstitut, 2013. ÖNORM B 1801.
- Österreichisches Normungsinstitut, 2013. ÖNORM B 1800.
- ProHolz Austria, 2011. Vorfertigung - Rationell Bauen 08/11.

- Richards, M., Bew, M., 2008. Bew-Richards BIM Maturity Model.
- Russell, A.L., 2018. Norm-Architektur – Von Durand zu BIM;
Das Modulare und das Digitale – Eine kurze
Begriffsgeschichte. Arch+ 233, 118–123.
- Scharp, M., 2005. Zukunft des Bauens und Wohnens.
- Schütte, J., 2018. Veränderungen des Bauproduktionsprozesses bei
einem Einsatz von Raummodulen Einleitung. Technische
Universität Braunschweig. <https://doi.org/https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201805141215-0>
- Staib, G., Dörrhöfer, A., Rosenthal, M., 2008. Elemente + Systeme
- modulares bauen : Entwurf, Konstruktion, neue
Technologien. Basel [u.a.] : Birkhäuser.
- Stamm-Teske, W., Fischer, K., Haag, T., 2012. Raumpilot: Wohnen.
Wüstenrot Stiftung, Ludwigsburg.
- Succar, B., 2009. Building information modelling framework:
A research and delivery foundation for industry
stakeholders. Autom. Constr. 18, 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- SWAP Architekten, Caramel Architekten, 2019. Eva – Rapid
Layouting [WWW Document]. URL <http://www.rapidlayouting.com/de/> (Zugegriffen am 23.9.2019).
- Wallgren, J., Kretz, M., 2019. Finch 3D [WWW Document]. URL
<https://finch3d.com> (Zugegriffen am 20.9.2019).
- Winter, S., Lechner, M., Köhler, C., 2018. Bauen mit WEITBLICK.
- Wohnfonds_Wien, 2017. 4-Säulen-Modell. Wien.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Iva Kovacic, die mich während meines Studiums zu einer vertieften Auseinandersetzung mit den Themen der integralen Planung und BIM motiviert hat und ohne deren kompetente Betreuung ich diese Diplomarbeit nicht in der vorliegenden Form umsetzen hätte können.

Ich möchte mich auch bei Frau Univ.Ass. Dipl.-Ing. Sophia Pibal für ihr organisiertes und fachliches Mentoring bedanken, wodurch sie mich bei der Erstellung dieser Arbeit vielfach unterstützt hat.

Auch meinen Studien-KollegInnen und FreundInnen, die mir immer durch anregende, kritische Diskussionen und freundschaftlichen Rat zur Seite standen, möchte ich meinen Dank aussprechen.

Von ganzem Herzen möchte ich Valerie für Ihre mentale Unterstützung, sowie für die Hilfe bei textlichen Formulierungen und grafischen Verbesserungen danken.

Abschließend gilt mein Dank meinen Eltern und meinen Schwestern, die mir stets Rückhalt und bedingungsloses Vertrauen geschenkt haben.

