



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.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

Integration von Fassadenbegrünung in das Building Information Modeling (BIM)

MASTER THESIS

Integration of facade greening into Building Information Modeling (BIM)

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

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Azra Korjenic**
Univ. Ass. Dipl.-Ing. **Jutta Hollands**

E 207-3

Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Ilie Stănescu

00927386

Wien, im September 2020

eigenhändige Unterschrift



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.

Kurzfassung

Um auch in Zukunft bei stets steigenden Einwohnerzahlen in Städten ausreichend Wohnraum zu bieten, werden immer mehr innerstädtische Grünflächen weichen müssen. Doch diese bestimmen maßgeblich das Klima in Städten und die Qualität des Stadtlebens. Vertikale Gebäudebegrünung bietet die Möglichkeit für Grün in der Stadt an Orten, an denen bisher kein Platz dafür zu sein schien. Um die hohe Lebensqualität in Wien und auch in weiteren internationalen Städten zu erhalten, ist es daher unabdingbar diese in den urbanen Raum zu integrieren.

Um die bisher vorhandenen Begrünungssysteme direkt in zukünftige Planungsprozesse einzubinden und auf diese Weise mit der voranschreitenden digitalen Entwicklung in der Baubranche mitzuhalten, ist eine Integration dieser in Building Information Modeling (BIM) dringend notwendig. In dieser Diplomarbeit erfolgte eine detaillierte Recherche hierzu. Das Potential der vorhandenen vertikalen Begrünungssysteme wurde analysiert und nach Erfassung der notwendigen Grundlagen, wurde jeweils ein Prototyp für die verschiedenen Systeme erstellt. Im Anschluss daran wurde anhand eines automatisierten Prozesses der zeitaufwändige konventionelle Planungsprozess von Begrünungssystemen optimiert, sodass es möglich ist die simulierten Begrünungsvarianten anhand von festgelegten Parametern zu evaluieren. Zu diesen Parametern zählen die durch die Gebäudehöhe bedingte Erreichbarkeit der Begrünung, die geografische Lage des Gebäudes, die Fassadengestaltung oder der Begrünungsanteil der Fassade. Durch diese Integration soll die Grundlage für marktreife BIM-Lösungen für Fassadenbegrünung geschaffen werden.

Anhand eines Projektbeispiels wird die Anwendung der Prototypen und die damit möglichen Berechnungen über den Lebenszyklus des Gebäudes dargestellt. Die Ergebnisse der Automatisierung der Platzierung der Fassadenbegrünung am Beispielgebäude werden auf Basis von Vergleichskriterien gegenübergestellt, in Form von Diagrammen veranschaulicht und die generierten Begrünungsvarianten werden in Virtual Reality präsentiert.



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.

Abstract

To continue to provide sufficient living space in future cities with ever-increasing numbers of inhabitants, more and more inner-city green spaces will have to make way. However, these have a decisive impact on the quality of city life. Vertical building greenery offers the possibility for green spaces in the city in places where there seemed to be no room for them before. To maintain the high quality of life in cities worldwide, it is therefore essential to integrate them into the urban space.

To include existing greening systems directly into future planning processes and thus keep up with the advancing digital development in the construction industry, an integration of these systems into Building Information Modeling (BIM) is urgently needed. Therefore, within the scope of a research project, the potential of the existing vertical greening systems for integration into BIM was analyzed after detailed research and prototypes for different greening systems were created for the first time. In this way, the common façade greening systems are digitized and could already be applied to example models on a trial basis. The results of different greening variants are evaluated and compared. The evaluation serves as a decision support for planners. The selection criteria established include design, costs for construction, service and maintenance and the life cycle assessment of the systems.

Using a project example, the use of the prototypes and the corresponding calculations over the life cycle of the building are presented. The results of the automation of the façade greening are compared based on comparison criteria, illustrated in the form of diagrams and the generated greening options are presented in virtual reality.

Inhaltsverzeichnis

Glossar.....	1
1. Einleitung.....	4
1.1. Persönliche Haltung.....	4
1.2. Fassadenbegrünung.....	5
1.3. Digitalisierung im Bauwesen und BIM.....	5
1.4. Zielsetzung.....	6
2. Grundlagen.....	7
2.1. Fassadenbegrünungssysteme.....	7
2.2. BIM und IFC.....	8
2.3. Standardisierung von Bauteil-Informationen im Bauwesen.....	9
2.4. Software-Lösungen zur Planung im BIM.....	12
2.5. Visuelle Programmierung.....	15
2.6. Datenvisualisierung.....	15
2.7. Verwendete Software Versionen.....	16
3. Methode.....	17
3.1. Regeln zur Implementierung von Fassadenbegrünungen.....	17
3.2. BIM-Planungswerkzeuge für Fassadenbegrünungen.....	18
3.3. Konzeptionierung der Simulation von Fassadenbegrünungen.....	19
3.4. Vergleichskriterien der Simulationsergebnisse.....	21
3.5. Lebenszyklus des Gebäudes.....	22
4. BIM-Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung.....	23
4.1. Untersuchte Fassadenbegrünungssysteme.....	23
4.2. BIM-Objekte für die Fassadenbegrünung.....	24
4.3. BIM-Projektvorlage für die Fassadenbegrünung.....	39
4.4. Modellierung der Begrünungen und Nachbearbeitung.....	46
4.5. freeBIM-Add-In für die Ausschreibungsphase.....	47
5. Simulation der Fassadenbegrünung.....	50
5.1. Anforderungen Ausgangsmodell.....	50
5.2. Überprüfung BIM-Modell.....	51
5.3. Entwicklung Simulations-Skript.....	53
5.4. Anwendung des Simulationsskriptes.....	69

6.	Anwendungsbeispiel und Ergebnisse.....	71
6.1.	Ausgangsmodell.....	71
6.2.	Begrünungsvarianten.....	74
6.3.	Kostenvergleich.....	78
6.4.	Visualisierung in Virtual Reality.....	86
6.5.	Mengenermittlung.....	89
6.6.	Leistungsbeschreibungen Hochbau	90
7.	Schlussfolgerung.....	91
7.1.	Erkenntnisse.....	91
7.2.	Herausforderungen.....	92
7.3.	Ausblick/ Weiterführende Schritte	92
8.	Danksagung	95
9.	Anmerkungen.....	95
10.	Literaturverzeichnis.....	96
11.	Abbildungsverzeichnis	99
12.	Tabellenverzeichnis.....	101
13.	Anhang	102
13.1.	Parameterlisten freeBIM-Merkmalserver	102
13.2.	Parameterlisten/ Pset_Common.....	105

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
3DM	RHINO Projektdatei Dateiformat
4D	vierdimensional
5D	fünfdimensional
ASI	Austrian Standards Institute
BIM	Building Information Modelling
bSDD	buildingSMART Data Dictionary
CAD	Computer-Aided Design
en:	Englische Sprache
FBX	3D Dateiformat (Filmbox)
GH	Grasshopper
IFC	Industry Foundation Classes
MS	Microsoft
PDF	Portable Document Format
Pset	Property Set
RFA	REVIT Familiendatei (en: REVIT Family)
RFT	REVIT Familienvorlagedatei (en: REVIT Family Template)
RTE	REVIT Projektvorlage (en: REVIT Template)
RVT	REVIT Projektdatei
SAT	Standard ACIS Text (CAD-Dateiformat)
TXT	Text-Datei
VR	Virtual Reality
XLS/XLSX	Microsoft EXCEL Dateiformat

Glossar

Die folgenden Definitionen stammen aus dem Buch „REVIT Familien - Editor: Content-Erstellung Leicht Gemacht“ [1]:

4D bezeichnet eine BIM-Anwendung, in der man ein geometrisches Modell mit Termininformationen verbindet, um eine Ablaufsimulation zu erstellen.

5D bezeichnet eine BIM-Anwendung, in der man ein geometrisches Modell mit Kostendaten verbindet, um einen Kostenplan aufzustellen.

Akteur*innen sind Personen oder Entitäten, die in bestimmten Funktionen (Rollen) bzw. Arbeitsbereichen am Projekt beteiligt sind, z. B. Architekt*innen, Projektmanager*innen, Bauherr*innen, Kostenplaner*innen usw.

BIM (Building Information Modelling = Bauinformationsmodellierung) ist der Einsatz digitaler Modelle für die Planung, Realisierung und betriebliche Nutzung baulicher Liegenschaften.

BIM-Leitfaden enthält Anleitung und Erklärung der allgemeinen Begriffs- und Prozessdefinition für die BIM-Methodik.

BIM-Manager*in ist die/der operative BIM-Leiter*in innerhalb eines Unternehmens.

BIM-Richtlinien sind praktische Anleitungen sowie eine technische Erklärung für die Anwendung von BIM- Richtlinien. Diese können auf nationaler, unternehmensweiter oder projektspezifischer Ebene erstellt werden.

closedBIM auch als nativeBIM bezeichnet beschreibt kollaborative Prozesse, insbesondere Datenaustausch-Vorgänge, die ausschließlich auf proprietären Systemen und kommerziellen Dateiformaten basieren.

Hersteller-Objekte sind Modellelemente, die als spezifische Produkte bestimmter Hersteller definiert sind.

IFC (Industry Foundation Classes) ist ein offener Standard zum Austausch von Modelldaten zwischen verschiedenen Softwarelösungen.

IFC2X3 bezeichnet eine frühere Version des IFC-Schemas, die schon von der Mehrzahl der Anwender*innen genutzt wird.

IFC4 bezeichnet die aktuelle Version des IFC-Schemas und die erste, die ISO-genormt ist (ISO 16739:2013).

ISO 19650 umfasst eine Serie von Normen (2018 veröffentlicht), die die BIM-Methodik bestimmen. ISO 19650 beruht weitgehend auf dem bekannten britischen Normenwerk PAS 1192.

Klasse ist hier als eine übergeordnete Gruppierung oder Klassifizierung des Modells bzw. Gebäudeelemente (z. B. Wand, Fenster etc.) zu verstehen.

Klassifizierung ist hier als ein standardisiertes System für die Gruppierung (Zuordnung) von Modell- bzw. Gebäudeelementen zu verstehen.

Kostenschätzung bezeichnet eine reaktive Kostenkalkulationsmethodik, die nicht in den Planungsfortschritt integriert ist, sondern sich eher an die Planungsphasen anschließt.

LoD (en: Level of Development/Detail = Entwicklungs-/Detaillierungsgrad) Genauigkeitsgrad der Erstellung eines Modellelements.

LoG (en: Level of Geometry) der geometrische Detaillierungsgrad eines Modellelements. LoG ist ein Aspekt der LoD-Definition.

Lol (en: Level of Information) Genauigkeitsgrad der Informationsinhalte (Metadaten) eines Modellelements. Lol ist der zweite Aspekt der LoD-Definition.

Mengenermittlung ist eine BIM-Anwendung, bei der Stücklisten oder andere Auswertungen (z. B. Flächenermittlung) aus dem Modell generiert werden.

Model-Checking ist eine BIM-Anwendung zur Prüfung der Qualität eines Modells - von der Kollisionserkennung bis hin zu komplexeren Überprüfungen im Hinblick auf die Einhaltung von Bauvorschriften oder anderer Anforderungen.

Modellanalyse auch Modellsimulation, bezieht sich auf alle BIM-Anwendungen, die die Extrahierung und Bewertung von Projektinformationen umfassen - von einfachen Mengenermittlungen bis hin zu anspruchsvollen energetischen oder statischen Analysen.

Modell-/Datenerstellung die vorrangige BIM-Aktivität in der Herstellung von Projektmodellen.

Natives Format das Datenverarbeitungsformat, in dem ein/e Urheber*in ein Modell erstellt und modifiziert.

Normen anerkannte und verbindlich geltende Regeln oder Standards, normalerweise auf nationaler oder internationaler Ebene.

Objektbibliotheken auch als BIM-Bibliotheken bezeichnet, sind Kataloge digitaler Modellobjekte (Bauelemente), die in verschiedenen Projektmodellen verwendet werden können.

Objekteigenschaften auch als Parameter bezeichnet, umfassen die individuellen Attribute eines Modellelements. Normalerweise auf Informationsinhalte (bzw. nicht-geometrische Aspekte) bezogen.

openBIM bezeichnet kollaborative Prozesse, insbesondere Datenaustauschvorgänge, die sich neutraler, offen zugänglicher Standards wie IFC (Industry Foundation Classes) oder BCF (BIM Collaboration Format) bedienen.

Parametrisch wird als eine Beschreibung von Einheiten, die aus variablen Attributen oder Parametern konstruiert sind, herangezogen.

Produktdatenblätter (en: Product Data Sheets, PDS) sind die digitale Auflistung von Eigenschaften eines bestimmten Hersteller-Produkts - auf Basis der einschlägigen Produktdatenvorlage.

TGA (Technische Gebäudeausrüstung) ist ein Begriff für Gebäudetechnik (u. a. Heizungs-, Lüftungs-, Elektro - und Sanitärsysteme).

Typ bezeichnet eine Unterkategorie von Modellobjekten. Ein Schiebefenster in Aluminium-Ausführung stellt z. B. einen spezifischen Typ der Objektklasse „Fenster“ dar.

Verschattungsberechnung ist eine architektonische Untersuchung, durch die ermittelt wird, inwieweit ein zu errichtendes Gebäude benachbarte Bauwerke oder Freiflächen verschatten würde.

Visualisierung im vorliegenden Kontext eine BIM-Anwendung, die ein digitales Gebäudemodell zur Bereitstellung von perspektivischen Ansichten bzw. 3D-Simulationen (Animationen) heranzieht.

Die folgenden Definitionen stammen aus verschiedenen Quellen:

Add-In ist ein Software-Aufsatz, der einem bestehenden Programm eine spezifische Funktion hinzufügt.

Programmierungsskript ist eine regelbasierte Sammlung von Prozessen, die automatisiert vom Computer ausgeführt werden. Die Prozesse umfassen das Abrufen von Eingabedate, ihre Verarbeitung und die Ausgabe der Ergebnisse.

UV-Koordinaten: Ein Punkt im Parameterraum einer Oberfläche wird mit den Parameter U, V und W beschreiben. Diese werden auch als UV-Koordinaten definiert. Sie sind eine Möglichkeit, die Position und Orientierung eines Punktes auf einer Oberfläche, wie in Abbildung 1, anzuzeigen.[2], [3]

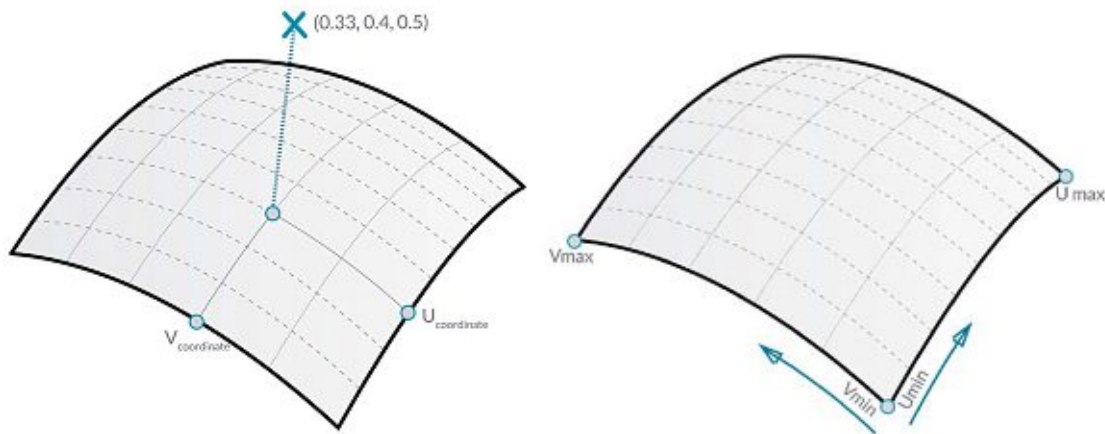


Abbildung 1 UV-Koordinaten einer Oberfläche [3]

Die **Domäne einer Oberfläche** ist als der Bereich von UV-Parametern definiert, die als dreidimensionale Punkte auf der Oberfläche ausgewertet werden können. Die Domäne für jede der Dimensionen (U oder V) wird normalerweise in Form zweier Zahlen (Umin bis Umax) und (Vmin bis Vmax) (Abbildung 1) beschrieben.[3]

Eine **Isokurve** (oder isoparametrische Kurve) bezeichnet dabei eine durch einen konstanten U- oder V-Wert auf der Oberfläche und eine Domäne für die Werte in der dazugehörigen U- bzw. V-Richtung definierte Kurve.[3]

Als **Senkrechte Ebene** versteht sich eine Ebene, die an einer gegebenen UV-Koordinatenposition sowohl zur U- als auch zur V-Isokurve senkrecht steht.[3]

Der **Normalenvektor** ist der Vektor, der die Aufwärtsrichtung relativ zur senkrechten Ebene definiert.[3]

In **Virtual Reality (VR)** visualisieren die Benutzer*innen eine virtuelle Welt und können dann mit ihr interagieren. Durch das Hinzufügen von VR kann die BIM-Lösung das Abrufen und Präsentieren von Informationen und die Effizienzsteigerung der Kommunikation und Problemlösung in einem interaktiven und kollaborativen Projekt angehen.

Volumenkörper-Extrusion - Eine Extrusion ist ein Körper, der durch das Ausstrecken eines 2D-Umrisses (normalerweise als Profil bezeichnet) entlang seiner z-Achse auf eine bestimmte Länge geformt wird (Abbildung 2). [4]

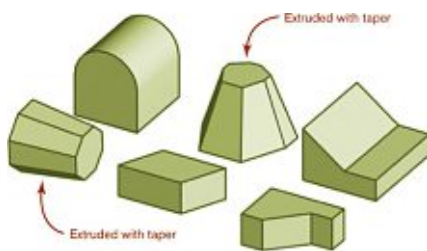


Abbildung 2 Extrusion [4]

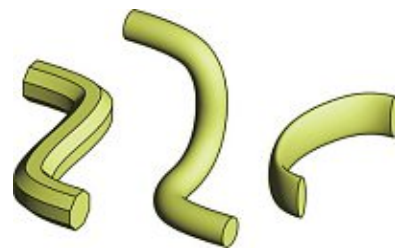


Abbildung 3 Sweep [4]

Volumenkörper Sweep Ein Profilkörper ist ein Sonderfall einer Extrusion. Das Sweep beschreibt das Extrudieren eines Profils entlang eines Pfades. Ein paar Beispiele sind in Abbildung 3 dargestellt. [4]

Abzugskörper (en: Void) ist ein negativer Körper, der zum Ausschneiden von Volumenkörpern verwendet wird.

1. Einleitung

In diesem Kapitel werden die Hintergründe und Ziele der Diplomarbeit beschrieben und eine kurze Einleitung zu den Thematiken Fassadenbegrünungen und Digitalisierung im Bauwesen gegeben.

1.1. Persönliche Haltung

Die Motivation liegt in meiner langjährigen professionellen Beschäftigung mit dem Thema Building Information Modeling (BIM) und meiner Zuwendung zu neuen, nachhaltigen, ökologischen Bauweisen im gebauten Umfeld.

Bereits in den ersten Jahren meines Architekturstudiums bin ich beiden Bereichen, der Digitalisierung mit BIM und Begrünungssystemen für Gebäude, begegnet. Während meines Studiums war ich neugierig, möglichst viele verschiedene Design-Softwares zu erlernen. Für zwei Jahre arbeitete ich als technischer Zeichner in einem Architekturbüro und setzte die herkömmlichen CAD-Softwares in allen Planungsphasen ein. In Universitätskursen eignete ich mir das Wissen über BIM an und erkannte seine Vorteile. Daher begann ich professionell BIM-Objekte zu entwickeln. Beim BIM-Symposium 2017 in Wien habe ich in einem Vortrag über die "Praktische Verwendung von Dynamo" [5] berichtet. In diesem Workshop wurde der Einsatz von einer neuen Methode der visuellen Programmierung als Hilfsmittel im Planungsalltag gezeigt. Anhand von Beispielen wurde die Erstellung und Funktionsweise einfacher Werkzeuge erklärt.

Im Jahr 2013, zusammen mit meinem Kollegen Kader Muzaqi, entwarfen und präsentierten wir einen Vorschlag für einen Pavillon zum Verkauf von Pflanzen (Abbildung 4). Die Kund*innen, eine Försterfamilie in Grafenweiden, Österreich wünschten sich ein pavillonartiges Gebäude, das vor Ort aufgestellt werden sollte, wo die Gartenarbeit stattfand. Der Pavillon, ein Quader mit der Kantenlänge von sieben Metern, wird von einer Holzkonstruktion getragen und mit einer transparenten Haut umhüllt. Auf den beiden Ebenen im Inneren des Pavillons werden die Blumen in verschiebbaren Pflanzkästen zwischen den Holzstützen präsentiert. Im Sommer kann die Haut abgenommen und die Pflanzen hinausgeschoben werden, und im Winter kann der Pavillon geschlossen werden und als Wintergarten funktionieren.



Abbildung 4 Abschlusspräsentation Entwurf Blumenpavillon aus Holz (Juli 2013)

Seit diesem Projekt war ich noch mehr daran interessiert, mit nachhaltigen Materialien zu bauen und Begrünung in Wohnungen und an Arbeitsplätzen der Menschen zu integrieren. Mit dieser Arbeit versuche ich, das Bewusstsein für die Bedeutung der Integration nachhaltiger Systeme in den digitalen Entwurfsprozess von Gebäuden zu schärfen.

1.2. Fassadenbegrünung

Die Vorteile von innovativen Fassadenbegrünungssystemen wie z. B. dass sie einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Konstruktion und die klimatischen Entwicklungen haben und auch bzgl. zahlreicher bauphysikalischer Parameter einen Mehrwert nicht nur für Wohnbauträger*innen und Inverstoren*innen, sondern auch für Bewohner*innen und Besitzer*innen mit sich bringen, sind recht bekannt. Die positiven Effekte beeinflussen die Architektur, die Versorgung und den Lebenszyklus eines Gebäudes, wirken aber auch zugunsten der Natur, des Städtebaus und des menschlichen Wohlbefindens. [6]

Durch den Einsatz von Begrünungssystemen wird die Entstehung von neuen Lebensformen für die lokale Flora und Fauna ermöglicht, was zu einer Bereicherung der Biodiversität führt und somit dem Grünflächenverluste durch bauliche Maßnahmen entgegenwirkt. Funktionen wie die Reduktion der Lärmbelastung, des Feinstaubes, der Wärmeverluste und der Betriebskosten gewähren den Bewohner*innen eine erhöhte Lebensqualität und Zufriedenheit. Zudem bieten Begrünungen die Möglichkeit die Natur auch in einer dicht bebauten Umgebung zu erleben, fördern die Produktivität und können auch die Möglichkeit zur Anpassung und Umgestaltung in Form von Urban Gardening bieten. [6]

Fassadenbegrünungen sind auch als ästhetisches Element zu betrachten. Gebäude bekommen dadurch eine individuelle Identität und erhöhen somit ihren Wiedererkennungswert. Durch die unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten können Bewohner*innen und Besitzer*innen auf eine besondere Art in den Gestaltungsprozess eingebunden werden, dies erhöht die Zufriedenheit sowie die Wohnqualität. [6]

1.3. Digitalisierung im Bauwesen und BIM

BIM ist stark mit der Thematik der Digitalisierung in der Bauwirtschaft verbunden. BIM ist eine interdisziplinäre Arbeitsmethode und bietet eine höhere Planungsqualität bei Bauprojekten in Bezug auf Termin- und Kostensicherheit sowie eine steigende Effektivität bei der Verwaltung, der Visualisierung und dem Austausch von baurelevanten Daten über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Das Planen, der Bau und der Betrieb eines Gebäudes sind hoch kollaborative Tätigkeiten unterschiedlicher Gewerke, wobei ein reibungsloser Prozess des Datenaustausches zwischen allen Beteiligten erwünscht ist. Dafür notwendige Voraussetzungen sind die Nutzung miteinander verknüpfter digitaler Gebäudeinformationsmodelle, die offene Standardisierung für das Informationsmanagement und die Verwendung einer für die Kollaboration optimierten Datenumgebung während des gesamten Lebenszyklus. Die Einsatzmöglichkeiten von BIM sind vielseitig und reichen über die Planungs- und Bauphase hinaus bis in die Betriebsphase. [7]

Einleitung

1.4. Zielsetzung

Derzeit existieren zahlreiche Software-Lösungen, deren Ziel es ist die Aufgabe der Planung und Berechnung von Gebäudebegrünungen zu unterstützen. Für Planer*innen stehen jedoch keine gesammelten best-practice-Projekte und -Abläufe zur Verfügung. Bestandteile und Berechnungsmöglichkeiten zur Integration der Begrünungssysteme in den digitalen, architektonischen Planungsprozess sind am Markt nicht verfügbar.

Das Ziel dieser Diplomarbeit besteht darin, innovative Planungswerkzeuge für Fassadenbegrünung zu erstellen, die bereits in der Anfangsphase der Planung implementiert werden und über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes Vorteile für die Planung bieten kann. Sowohl Parameter wie Kosten (Produktions-, Wartungs- und Entsorgungskosten) als auch Gestaltungs- und Konstruktionsmöglichkeiten der Fassadenbegrünungssysteme werden berücksichtigt und simuliert.

Zuerst werden parametrisierte BIM-Objekte für die untersuchten Fassadenbegrünungen erstellt. Diese werden in einer Projektvorlage samt Berechnungsunterlagen zusammengefügt und ihre Anwendung wird anhand eines Projektbeispiels verdeutlicht. Dank der Verwendung der Planungswerkzeuge ist eine normgerechte Plandokumentation, die Möglichkeit der Kollaboration zwischen Projektbeteiligten, die Erstellung von einer genauen Kostenschätzungen und die Visualisierung in Virtual Reality gewährleistet. Nicht zuletzt ist es auch ein Mehrwert für das Facility Management, dass intelligente BIM-Objekte zur Verfügung stehen.

In einem zweiten Schritt wird ein automatisierter Simulationsprozess erstellt, der in der Anfangsphase der Planung durchgeführt werden kann. Anhand des Projektbeispiels wird durch die Simulation eine Mehrzahl von Begrünungsvarianten generiert und evaluiert. Die Ergebnisse der Automatisierung der Fassadenbegrünung werden in Form von 3D-Ansichten und von Diagrammen auf Basis von Vergleichskriterien gegenübergestellt und dienen damit der Veranschaulichung des Kostenvergleichs.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Vorteile der Fassadenbegrünungssysteme näher beschrieben und die verwendeten technischen Fachbegriffe definiert. Darüber hinaus werden die Themen Building Information Modelling (BIM) und Industry Foundation Classes (IFC) sowie die in dieser Arbeit verwendeten Softwareprogramme vorgestellt.

2.1. Fassadenbegrünungssysteme

Wenn die Entscheidung zur Ausführung einer Gebäudebegrünung gefallen ist, beginnt der Prozess der Festlegung des Begrünungssystems und der Auswahl der Pflanzen. Die Entscheidung der Pflanzeneignung beruht sowohl auf Gestaltungs- als auch auf Konstruktionskriterien. [8]

Bei der Auswahl und Umsetzung eines Begrünungssystem werden Kriterien betreffend den Lebensraum der Pflanzen (z. B. Pflanzenbedürfnisse, Windangriff, Lichtverhältnisse), Versorgungskriterien (z. B. Wasser- und Nährstoffversorgungssystem, Wartungsinfrastruktur, Entsorgung, etc.) und Konstruktionskriterien (z. B. Gebäudeumfeld, Statik, Verankerung, etc.) berücksichtigt. [8]

Die Gestaltungsmöglichkeiten sind abhängig vom Stadtraum, dem Gebäude und der Pflanze. Anwendungskriterien für den Stadtraum sind z. B. Raumbildung, Lenkung, Wirkung im Stadtraum. Hier sind die ökologischen und wirtschaftlichen Aspekte in der Umgebung des Gebäudes wichtig, sowie die Beteiligung an einem schon existierenden Grünkonzept. [8]

Durch begrünte Fassaden wird die Identität des Stadtbildes gestärkt, denn sie wirken als Orientierungspunkte, steigern den Wiedererkennungswert und die Raumbildung kann dadurch definierter wirken. Durch begrünte Stellen kann die Aufmerksamkeit auf bestimmte Funktionen gelenkt werden. Dadurch können begrünte Fassaden auch als Instrument zur Wegführung eingesetzt werden. [8]

In Bezug auf das Gebäude müssen die Form und Funktion berücksichtigt werden. Farbe, Optik und Organisation der Fassaden sowie die Nutzung und die Fauna sind in diesem Fall ausschlaggebend für die Umsetzung des Begrünungssystems. Bis auf die klimatischen Voraussetzungen, welche die Fassadenhöhe limitieren können, gibt es keine Begrenzungen der Flächengrößen von Begrünungen, solange alle üblichen baurechtlichen Anforderungen Berücksichtigung finden (z.B. Brandschutz, Bauphysik etc.). Im Falle von unansehnlichen Elementen, können Begrünungssysteme temporär oder dauerhaft implementiert werden, um solche Imperfektionen zu verstecken. Andere Ansatzpunkte für Begrünungssysteme sind die Kubatur und die Raumbildung. Durch den gezielten Einsatz von Begrünungen auf einer Fassade können die unterschiedlichen Funktionen eines Gebäudes hervorgehoben werden, außerdem dienen Begrünungen auch zur Geschosstrennung und zur Plastizität des Objektes. Ein weiterer Bereich, in dem eine Fassadenbegrünung optimal eingesetzt werden kann, ist die Geometrie des Objektes. Der Rhythmus, die Modularität und der Maßstab von Gebäuden können mittels Begrünungssystemen manipuliert werden, falsche Gebäudedimensionen oder Proportionen können betont oder korrigiert werden. Zusätzlich können die unterschiedlichen geometrischen Elemente einer Fassade mit der Begrünung bemerkenswert kontrastieren und somit eine Abhebung des Gebäudes gegenüber anderen bewirken. [8]

2.2. BIM und IFC

Für die in dieser Arbeit angestrebte Entwicklung in der BIM-Technologie werden unterschiedliche Begriffe vorausgesetzt, welche im folgenden Kapitel definiert und erläutert werden.

2.2.1. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling beschreibt den Prozess der integralen Planung und die Verwendung eines digitalen Gebäudedatenmodells in allen Phasen des Lebenszyklus des Gebäudes. Das Gebäudedatenmodell ist eine digitale Abbildung eines Gebäudes von der Ermittlung der Grundlagen bis zum Rückbau. Es dient als zentrale Informationsquelle für die Zusammenarbeit aller an Planung und Bau Beteiligten.

Neben den geometrischen Daten sind auch alle relevanten Attribute eines Bauwerkes, auch Metadaten genannt, wie z. B. energetische Eigenschaften, Materialien, Abmessungen, usw., enthalten.

BIM hat das Potential, die verschiedenen Bereiche der Bauindustrie (Planung, Errichtung und Betrieb) enger zusammenzubringen und weist dementsprechend einen großen Nutzen entlang des Lebenszyklus von Gebäuden auf. [9]

2.2.2. Industry Foundation Classes (IFC)

Industry Foundation Classes (IFC) ist ein bei BIM-Prozessen häufig verwendeter Dateistandard, der laufend überarbeitet und weiterentwickelt wird. Dieser Dateistandard sorgt für einen reibungslosen Datenaustausch zwischen den Projektpartner*innen. Mit Hilfe dieses Dateistandards können 3D-Planungsdaten plattformneutral mit beschreibenden Attributen zwischen Bausoftwaressystemen übertragen werden. Abbildung 5 zeigt hierzu die IFC-Struktur von der Projektbasis bis zur Aufschlüsselung der Bauteile nach IFC-Klassen. Die BIM-Schnittstelle ist mit den IFC hinreichend spezifiziert und anhand von ISO 16739-1:2018 auch standardisiert. Softwareprodukte im Bereich Computer Aided Architectural Design (CAAD), wie beispielsweise Autodesk REVIT oder Graphisoft ArchiCAD, setzen diesen Teil der Schnittstelle erfolgreich um. [10]

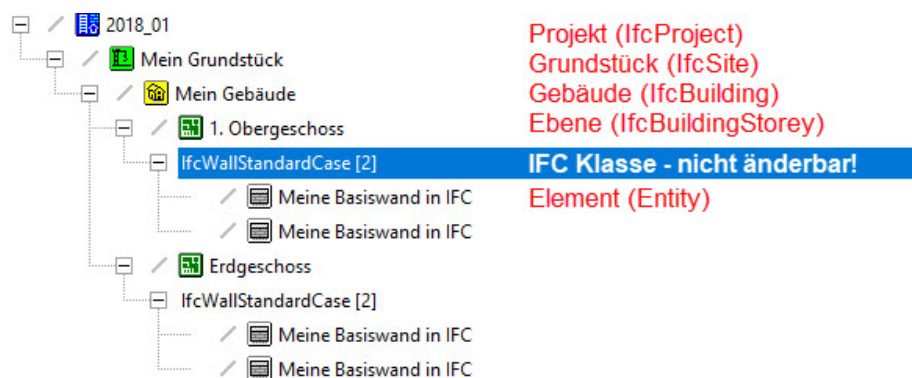


Abbildung 5 IFC Struktur [11]

Das IFC-Modell ist eine Textdatei, die Basisinformationen und je nach Einstellungen auch Zusatzinformationen über das Modell enthält. Jede Zeile dieser Textdatei enthält unterschiedliche Strukturen: Daten über geometrische Objekte, die dann zu Bauteilen zusammengefügt werden, Attribute der Bauteile, Beziehungen zwischen Bauteilen und sonstige Systemvariablen und -definitionen. Die Attribute der Bauteile werden in sogenannten Datensätzen wie „Quantity-Sets“ und „Property-Sets“

organisiert. Die „Quantity-Sets“ sind Abmessungseigenschaften, die aus der Geometrie der Bauteile abgeleitet werden, wie zum Beispiel: Länge, Fläche, Volumen. Demgegenüber beinhalten die „Property-Sets“ alle anderen Eigenschaften, wie Feuerwiderstandsklasse, Hersteller, Baujahr, usw. Der Datenstandard des IFC-Formates wird im BuildingSmart Data Dictionary (bsDD) definiert [10]. In Kapitel 4.2.2 sind die IFC Parameterlisten für Fassadenwände und Fassadenelemente abgebildet.

2.2.3. openBIM und closedBIM

Mit openBIM wird ein Prozess der softwareneutralen Kommunikation und Kollaboration zwischen Projektbeteiligten beschrieben. Im Vordergrund steht dabei der Austausch und die Übersetzungsfähigkeit der Gebäudedatenbank unabhängig von der eingesetzten Software. Im Vergleich zum „open“ Format steht das „closedBIM“ oder das „nativ“ Format, bei dem die beteiligten Projektpartner*innen die gleiche Software einsetzen. Abbildung 6 vergleicht den Informationsaustausch im traditionellen Bauplanungsprozess mit dem Projektlauf bei der Verwendung von BIM.

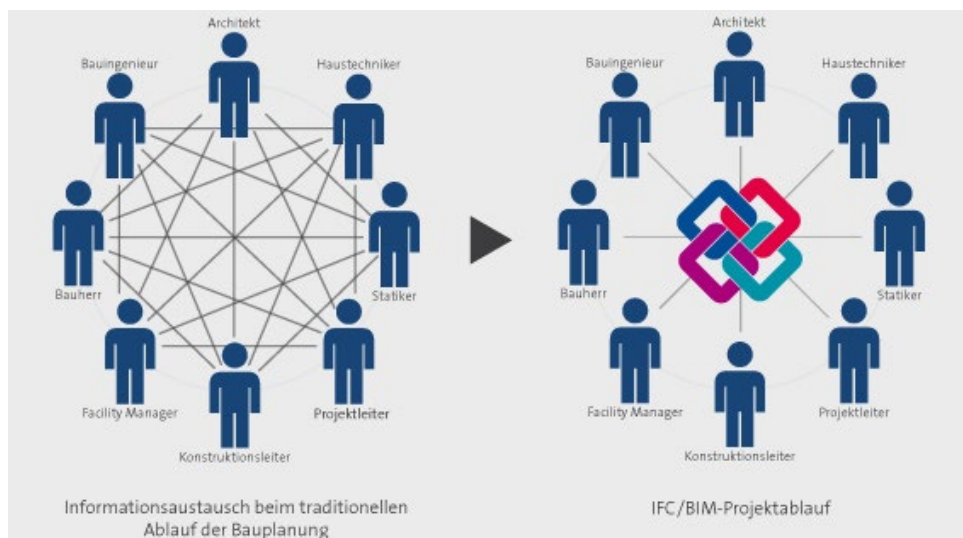


Abbildung 6 Vergleich traditioneller Ablauf der Bauplanung vs. BIM Projektlauf [12]

2.3. Standardisierung von Bauteil-Informationen im Bauwesen

Um die Kollaboration mit der BIM-Methode zwischen den Projektbeteiligten zu gewährleisten, ist ein standardisierter Informationsaustausch vorausgesetzt. In diesem Abschnitt wird die freeBIM-Standardisierung beschrieben.

2.3.1. freeBIM Merkmalsserver (MMS)

Der Austrian Standards Institut - Merkmalsserver ist ein weltweit einzigartiges Konzept. Dieser dient dazu eine gemeinsame Sprache für die Beschreibung von Bauteilen zu gewährleisten, sodass diese eindeutig und unverwechselbar beschrieben werden können. Das Konzept des Merkmalservers ist bereits Teil der ÖNORM A-6241-2 Digitale Bauwerksdokumentation - Building Information Modeling (BIM). Zusätzlich wird dieses Konzept bereits in der Planung zur neuen BIM – CEN Norm (CEN TC 442) in Form einer Arbeitsgruppe berücksichtigt.[13]

Eine detaillierte Beschreibung der freeBIM-Standardisierung ist in [14] zu finden. Grundsätzlich strebt der Merkmalsserver eine Vereinheitlichung der Parameterstruktur für das Austauschen von Daten zwischen verschiedenen

Grundlagen

Projektpartner*innen und Softwareprogrammen an. Der Merkmalsserver beinhaltet mehrere Bibliotheken und ist so strukturiert, dass man die Parameter der Bauteile im Laufe des Lebenszyklus des Gebäudes einsehen kann. Die Parameter sind nach der Art des Bauteils, der Projektphase und dem Material des Bauteils organisiert. Die in Abbildung 7 dargestellte ON6241-2-freeBIM Parameter-Bibliothek wird ähnlich wie eine IFC Datei aufgebaut.

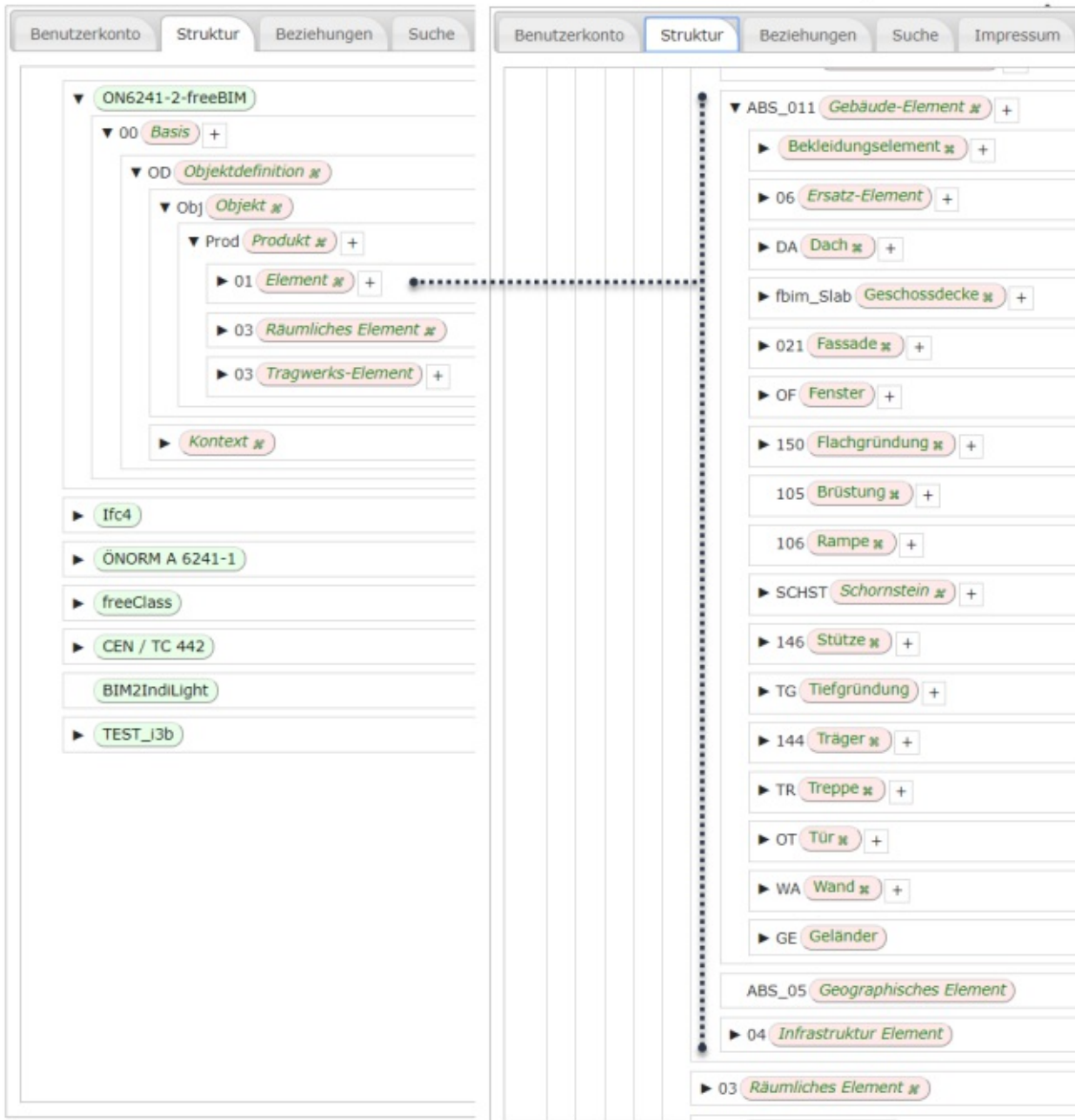


Abbildung 7 Struktur ASI-Merkmalsserver [13]

Je nach Ebene werden Parameter zugeordnet. Abbildung 8 stellt beispielhaft die Parameter für Fassaden dar.

Nr.	Code	Name	Beschreibung	Parameter Typ	Status
2	fbim_surfaceSpreadOfFlame	Brandverhalten 2.3)	Beschreibung des Brandverhaltens gemäß der nationalen Brandschutzverordnung.	Typ	geprüft
4	fbim_soundReductionClass	Schallschutzklasse 2.3)	Schallschutzklasse gemäß der nationalen Schallschutzverordnung.	Typ	geprüft
7	fbim_firerating	Feuerwiderstandsklasse 2.3)	Feuerwiderstandsklasse gemäß der nationalen Brandschutzverordnung.	Typ	geprüft
7	fbim_isexternal	Außen gelegenes Element 2.3)	Angabe, ob dieses Element ein Außen- (oder Erdreich, oder Wasser) Element ist.	Instanz	geprüft
11	fbim_lengthOfCurtainWall	Länge Fassade 2.3)	Gesamtlänge der Vorhangfassade (einschließlich der Vertikallinien der Vorhangfassade).	abgeleitet	geprüft
12	fbim_heightCurtainWall	Höhe Fassade 2.3)	Höhe der Vorhangfassade. Der mittlere Pfad des Elements ist.	abgeleitet	geprüft
13	fbim_statusOfElement	Status 2.3)	Status bzw. Phase des Bauteils (wie Abstützungen, etc.).	Instanz	geprüft
13	fbim_widthCurtainWall	Dicke Fassade 2.3)	Dicke der Vorhangfassade. Der mittlere Pfad des Elements ist.	abgeleitet	geprüft
14	fbim_grossSideAreaCurtainWall	Bruttofläche Fassade 2.3)	Gesamte Bruttofläche der Vorhangfassade (einschließlich der Vertikallinien der Vorhangfassade) werden übermessen.	abgeleitet	geprüft
15	fbim_netAreaCurtainWall	Nettofläche Fassade 2.3)	Gesamte Nettofläche der Vorhangfassade (einschließlich der Vertikallinien der Vorhangfassade) werden abgezogen.	abgeleitet	geprüft
17	fbim_reference	Referenz 2.3)	Bezeichnung zur Zusammenfassung der Bauteile, die für ein Sonnenschutzsystem angewandt wird.	Typ	geprüft
21	fbim_specificationOfSunProtection	Position Sonnenschutz 2.3)	Angabe inwiefern und wo Sonnenschutzsysteme verwendet werden.	Instanz	geprüft
22	fbim_typeOfSunProtection	Typ Sonnenschutz 2.3)	Genaue Angabe über den verwendeten Elementtyp des Sonnenschutzes.	Instanz	geprüft

▼ Aufsatzkonstruktion

- Pfosten
- Riegel
- Randprofil horizontal
- Randprofil vertikal

▼ Elementfassade

Abbildung 8 Eigenschaften der Klasse Fassade im ASI-Merkmalserver[13]

2.3.2. freeBIM Bauteilserver

Ein weiterer Bereich dieser Plattform ist der Bauteilserver. Vom Bauteilserver können herstellereigene Bauteile heruntergeladen werden. Bei diesen sind zusätzlich auch die Herstellerdaten hinterlegt. Dazu gehören Informationen, welche zu einer Ausschreibung und einer Kostenberechnung benötigt werden. Mit Hilfe der Add-Ins für verschiedene marktübliche BIM-Softwareprogramme können diese BIM-Objekte vom Bauteilserver ins Projekt eingefügt werden. Werden diese BIM-Objekte in der Planung verwendet, ist es unter anderem möglich, sobald sich Informationen der Hersteller*innen ändern, diese Änderungen im BIM-Modell über das freeBIM Add-In direkt zu aktualisieren. Bei der Verwendung von Bauteilen und deren Materialien des Bauteilservers kann das freeBIM Add-In Kostenberechnungen und Leistungsbeschreibungen durchführen. [13]

2.3.3. freeBIM Add-Ins

Die ÖNORM A-6241-2 sieht vor, alle in der freeBIM-Bibliothek vorhandenen Parameter in das BIM-Modell einzupflegen. Das kann händisch in jeder BIM-Software erfolgen. Die Parameter-Listen sind frei verfügbar. Für das automatisierte Einpflegen der Parameter in die BIM-Modellen, stellt freeBIM für REVIT und ArchiCAD Add-Ins zu Verfügung. Eine Materialien-Vorlagedatei steht auch am Bauteilserver zum Download bereit. Um die Funktionalität des Add-Ins zu gewährleisten, ist zu empfehlen diese Materialien zu verwenden. Mit dem Add-In können Bauteile, wie Wände, Geschosdecken, Fundamente, usw. direkt im Projekt erzeugt werden: Diese beinhalten bereits die Parameter mit den hinterlegten Daten, sowie die Materialeigenschaften auf dem Merkmalserver. [13], [14]

2.4. Software-Lösungen zur Planung im BIM

Für die Erstellung der BIM-Objekte und die Planung der Begrünungssysteme wurden in dieser Diplomarbeit die Softwares Autodesk REVIT und Rhinoceros (RHINO) gewählt. Das Automatisieren der BIM-Prozesse wird in der visuellen Programmierungsumgebung Grasshopper für RHINO programmiert. In weiterer Folge soll es jedoch möglich sein, unabhängig von der Software, die im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelten Objekte und Vorlagen zu nutzen. Angaben dazu sind im Kapitel 7.3 Ausblick/ Weiterführende Schritte zu finden.

2.4.1. Autodesk REVIT

Autodesk REVIT ist eine BIM-Planungssoftware, die die Zusammenarbeit zwischen Projektpartnern*innen ermöglicht. Dazu gehören beispielsweise Architekt*innen, Statiker*innen, Haustechniker*innen sowie Firmen auf der Seite der Bauherr*innen. Einerseits ist die gleichzeitige Zusammenarbeit von mehreren Anwender*innen in der gleichen Planungsdatei, auch REVIT-Modell genannt, möglich und andererseits wird die Koordination zwischen verschiedenen Teams effizienter, indem die Modelle miteinander verknüpft werden.

Die Projektstruktur in REVIT ist im Projektbrowser abgebildet. Ein REVIT-Modell besteht aus: Planansichten, Legenden, Bauteillisten, Pläne, BIM-Objekten, die nach vordefinierten Kategorien organisiert sind, verknüpfte REVIT-Projekte, Gruppen und Baugruppen. Diese Bestandteile sind in Abbildung 9 abgebildet und werden in den folgenden Abschnitten genauer beschrieben.

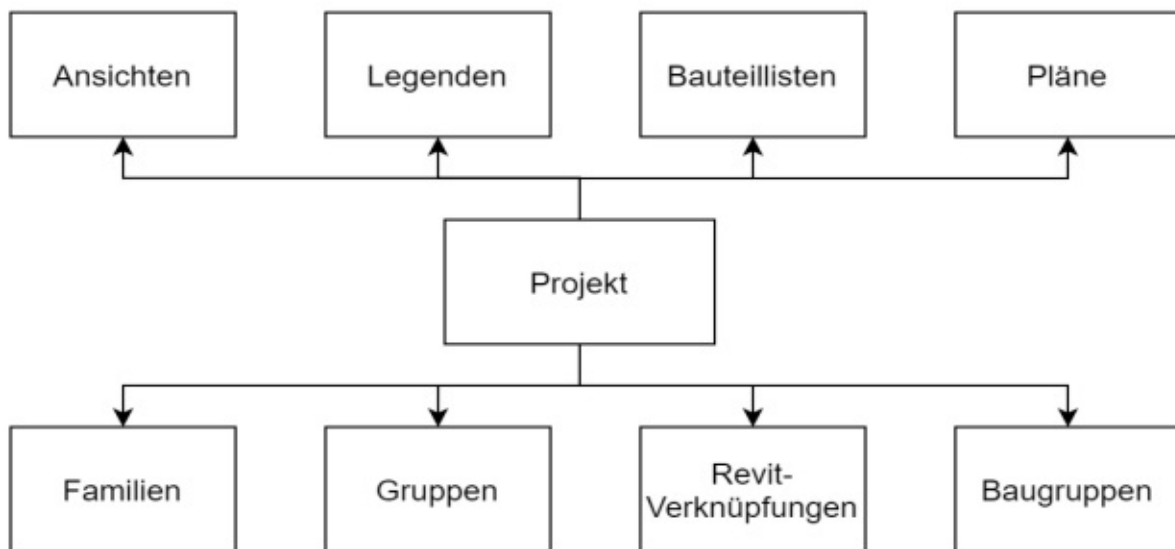


Abbildung 9 REVIT Projektbrowser

Modellkategorien in REVIT

Modellkategorien sind die Hauptklassifikation der Familien in REVIT. Die für diese Arbeit wichtigsten Kategorien sind in Tabelle 1 Modellkategorien in REVIT in deutscher und englischer Sprache aufgelistet.

Tabelle 1 Modellkategorien in REVIT

MODELLKATEGORIEN	MODEL CATEGORIES
Allgemeines Modell	Generic Models
Dächer	Roofs
Fassadenelemente	Curtain Panels
Fassadenpfosten	Curtain Wall Mullions
Fassadensysteme	Curtain Systems
Fenster	Windows
Geländer	Railings
Geschossdecken	Floors
Materialien	Materials
Profile	Profiles
Türen	Doors
Wände	Walls

BIM-Objekte in REVIT

BIM-Objekte werden in REVIT „Familien“ genannt. Ein REVIT-Modell besteht u.a. aus Familien und ihren Eigenschaften, die in Tabellen aufgelistet werden können. Sobald ein Bauteil im Modell erstellt oder geändert wird, ändert sich die Instanz in jeder Ansicht des Modells, in der es sichtbar ist, sowie in jeder Liste, in der es enthalten ist. REVIT-Familien werden immer einer vordefinierten Kategorie zugeordnet. Familien unterteilen sich in Systemfamilien, interne Projektfamilien und ladbare/ externe Familien. Systemfamilien sind der Bezeichnung entsprechend systembasiert und können nur in einer REVIT-Projektdatei angelegt werden. Die ladbaren Familien werden in der Familien-Editor-Umgebung, einer Umgebung zur Erstellung von Familien innerhalb von REVIT, programmiert, können aber extern gespeichert werden. [1]

Eine Mehrzahl an Familien wird mit der REVIT- Objektbibliothek geliefert. Ist ein BIM-Objekt in der Bibliothek nicht enthalten, so kann es von Grund auf neu erstellt werden. So wurde auch bei den Begrünungssystemen in dieser Diplomarbeit vorgegangen. Die Erstellung der BIM-Objekte für die Begrünungssysteme wird in Kapitel 4.2.3 beschrieben.

Auswahl der Familienvorlage und der Kategorie

Zunächst wird die Familienvorlage in Übereinstimmung mit der Funktion, die die Familie im Projekt erfüllen muss, ausgewählt. REVIT unterscheidet zwischen gehosteten, individuellen Familien und anderen speziellen Familien. Eine Tür ist z. B. eine wandbasierte Familie und damit eine gehostete Familie. Im Gegensatz dazu, ist ein Möbelstück eine freistehende, individuelle oder nicht-gehostete Familie. Spezielle Familien sind Profildfamilien, Linienbasierte Familien oder Detail- und Beschriftungsfamilien. Die letzteren sind zweidimensionale Objekte. Jede dieser Familien benötigt eine andere Familienvorlage. Diese Familien haben nicht nur unterschiedliche Funktionsweisen, sondern auch die Standardparameter innerhalb der Familienvorlagen unterscheiden sich.

Als nächstes muss die Kategorie der Familie festgelegt werden, sodass sie für eine spätere Verwendung in der richtigen Bauteilliste angeführt werden kann. Beispiele für Kategorien sind: Wände, Türen und Fenster. Die Wahl der Kategorie ist entscheidend, da bei einem späteren Wechsel der Kategorie Schwierigkeiten auftreten können [15].

Parameter in REVIT

Eigenschaften von Elementen werden in REVIT als Parameter bezeichnet. Parametern werden unterteilt in: Familienparameter, Systemparameter, gemeinsam genutzte Parameter, globale Parameter, Projektparameter, u.a. Die meisten Parameter, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, sind als gemeinsam genutzte Parameter definiert und in einer gemeinsam genutzten Parameterliste gespeichert.

Gemeinsam-genutzte Parameter

Gemeinsam-genutzte Parameter sind Parameterdefinitionen, die in mehreren Familien oder Projekten verwendet werden können. Gemeinsam genutzte Parameter sind vordefinierte Parameter. Sie können in Bauteillisten aufgelistet werden. Parameter können auch mit einer Beschriftungsfamilie zur Dokumentation von Plänen versehen werden, um die Werte der Objekte anzuzeigen. Ein klassisches Beispiel ist die Türbeschriftung, die die Durchgangslichte, Breite und Höhe anzeigt. Sie werden in gemeinsam-genutzten Parameterlisten gespeichert, die unabhängig von einer REVIT-Familiendatei oder einem REVIT-Projekt sind.

Gemeinsam-genutzte Parameterliste

Eine gemeinsam-genutzte Parameterliste ist eine txt-Datei, die eine Auflistung von gemeinsam-genutzten Parameter enthält, die in mehreren Familien oder Projekten verwendet werden können.

Bauteillisten in REVIT

Bauteillisten/Mengen- und Materialauflistungen quantifizieren und analysieren die in einem Projekt verwendeten Bauteile und Materialien. Eine Bauteilliste ist eine weitere Ansicht im Modell [16]. Sie aktualisieren sich automatisch, sobald ein Objekt zum Modell hinzugefügt, geändert oder aus dem Modell entfernt wird.

Materialien und Material-Parameter

Materialien steuern die Darstellung von Modellelementen in Ansichten und gerenderten Bildern. Folgenden Informationen können den Materialien angegeben werden: Identität, Grafiken, Aussehen, physische und thermische Eigenschaften.

Projektkörper

Projektkörper können innerhalb eines Projekts (Projektkörper) oder außerhalb eines Projekts (ladbare Entwurfskörper-Familien) erstellt werden. Mit Körpern können Freiformen erstellt werden. Körperformen werden dazu verwendet, um ein Gebäudemodell zu konzeptualisieren oder Entwurfsideen zu erforschen. [17]

Entwurfsoptionen

Entwurfsoptionen sind im REVIT bezeichneten Entwurfsvarianten.

2.4.2. Rhinoceros (RHINO)

RHINO ist eine 3D-Modellierungssoftware. Es gibt keine Grenzen hinsichtlich Komplexität. RHINO ist mit vielen verschiedenen CAD-, CAM-, CAE-, Rendering- und Animationsprodukten kompatibel. Die von RHINO verwendeten Bibliotheken ermöglichen das Lesen und Schreiben der nativen 3DM-Dateien von RHINO von vielen anderen Anwendungen. RHINO ist die weltweit robusteste 3D-Entwicklungsplattform für spezielle Modellierungs-, Rendering-, Analyse- und Fertigungswerkzeuge in einer Vielzahl von Disziplinen [18].

2.4.3. GeometryGymIFC

Geometry Gym bietet ein Add-in für RHINO und Grasshopper an, das den Import, Export und die Modifizierung von IFC-Dateien direkt aus der RHINO- und Grasshopper-Umgebung heraus ermöglicht. Damit können BIM-Prozesse automatisiert werden. [19]

2.5. Visuelle Programmierung

Die Programmierung ist der Vorgang der Formalisierung der Verarbeitung einer Folge von Tätigkeiten in ein ausführbaren Anwendung. Herkömmlich wird ein durch Syntax gebundener Text eingegeben, um ein Programm zu schreiben [3]. Die visuelle Programmierung ist ein Zweig der Computer-Programmierung und stellen eine neue Art dar. Es werden Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die es den Anwender*innen ermöglichen, maßgeschneiderte BIM-Lösungen zu programmieren, ohne dass vertiefte Programmierkenntnisse erforderlich sind. In der visuellen Programmierung werden die Anweisungen und Beziehungen des Programms über eine grafische Benutzeroberfläche definiert. [20]

Typischerweise besteht die Benutzeroberfläche von visuellen Programmierungsanwendungen aus einem Arbeitsbereich und einer Bibliothek mit einzelnen Komponenten (Knoten). Die Knoten werden auf dem Arbeitsbereich platziert und durch so genannte „Connectors“ miteinander verbunden. Das so entstandene System kann als Graphen-System gespeichert und an andere Projektbeteiligten weitergegeben oder entsprechend dokumentiert werden. [20]

2.5.1. Grasshopper für RHINO (GH)

Grasshopper ist ein grafischer Algorithmus-Editor, der in den 3D-Modellierungswerkzeugen von RHINO integriert ist. Es erfordert keine Programmier- oder Scripting-Kenntnisse und erlaubt es Designer*innen aber dennoch einfach bis hin zu komplexen Formgeneratoren zu bauen [21].

2.6. Datenvisualisierung

Um die in der BIM-Software erstellten Modelle und die damit verbundenen Daten für die jeweilige Zielgruppe entsprechend aufzubereiten, können weitere Softwares verwendet werden. Zwei Möglichkeiten, die in dieser Diplomarbeit eingesetzt werden, werden in diesem Kapitel vorgestellt.

2.6.1. Microsoft PowerBI (Business Intelligence)

Mit MS PowerBI kann eine Verbindung zu Daten hergestellt, vorbereitet, modelliert und visualisiert werden. Dadurch können Ergebnisse analysiert, ausgetauscht und sogar in eine Anwendung oder Website eingebettet werden. Die Datenquellen können lokal oder in der Cloud hergestellt werden, um Echtzeitinformationen zu erhalten und all diese Daten in interaktive Live-Visualisierungen zu verwandeln. [22]

Grundlagen

2.6.2. Twinmotion von Unreal

Twinmotion ist eine 3D-Architekturvisualisierungssoftware, mit der BIM- oder CAD-Modell intuitiv und in Echtzeit visualisiert werden können. Bei dieser Art der Visualisierung handelt es sich um eine Anwendung von Virtual Reality (VR). Qualitativ hochwertige Bilder, Panoramen und Standard- oder 360° VR-Videos können schnell erstellt werden. Die Software dient den Fachleuten aus den Bereichen Architektur, Bauwesen, Stadtplanung und Landschaftsgestaltung. Twinmotion bietet direkte Synchronisierung unter anderen mit REVIT und RHINO. Die Formate FBX, C4D und OBJ werden unterstützt. Die Twinmotion-Bibliothek umfasst nicht nur statische Gegenstände, sondern auch Hintergrundgeräusche, fotografisch gescannte menschliche Charaktere, Tierfiguren und hochauflösende Pflanzen, die im Wind wehen können. Alle diese Elemente können durch Drag & Drop in die Szene eingefügt werden. [23]

2.7. Verwendete Software Versionen

In diesem Abschnitt sind alle Software-Programme aufgelistet, die in dieser Diplomarbeit verwendet wurden (Tabelle 2).

Tabelle 2 Verwendete Software Versionen

Software	Version	Herausgeber
Autodesk REVIT	2019.2	Autodesk, Inc
Rhinoceros (RHINO)	6	Robert McNeel & Associates
Grasshopper (GH)		Robert McNeel & Associates
GeometryGymIFC	v1.9.12	Jon Mirtschin, Geometry Gym Pty Ltd
Twinmotion	20.1	Unreal Engine, Epic Games, Inc
Microsoft PowerBI Desktop	2.79	Microsoft Corporation
Microsoft EXCEL 365		Microsoft Corporation
IFC	IFC 2x3, IFC 4	BuildingSmart

3. Methode

Zur Integration von Begrünungen in BIM ist es notwendig intelligente BIM-Objekte zu entwickeln, die nicht nur in der Planungsphase, sondern während des gesamten Lebenszyklus des Bauvorhabens wirksam sind. Im Folgenden wird die Methode zur Erstellung von BIM-Objekten erläutert. Darüber hinaus werden automatisierte Planungsprozesse für die Simulation und Modellierung von Begrünungssystemen definiert. Die Konzeptionierung der Prozesse sowie die Software-Lösungen, die diese ermöglichen, werden beschrieben.

3.1. Regeln zur Implementierung von Fassadenbegrünungen

Fassadenbegrünungen bringen zahlreiche Vorteile mit sich und bieten weitgefächerte Möglichkeiten der Gestaltung wie in Kapitel 2.1 erläutert wurde. In Abbildung 10 ist eine Auswahl der Anwendungskriterien aus der Dissertation von Nicole Pfoser [24] dargestellt, die in dieser Diplomarbeit untersucht und implementiert wurden.



Abbildung 10 Anwendungskriterien Gebäude [24]

Für die im Rahmen dieser Diplomarbeit erfolgte Automatisierung der Platzierung der Begrünungssysteme am Gebäude wichtige Punkte aus der Dissertation [24] sind:

- Lichtverhältnisse: Lage, Himmelsrichtung, Verschattung durch umgebende Bebauung;
- Pflege und Wartung: Erreichbarkeit, Konstruktion, Bewässerung/ Nährstoffversorgung

Aus diesen Punkten leitet sich der Ablauf für die Erstellung und Berechnung von Begrünungssystemen in der BIM-Umgebung und die dafür notwendigen Parameter für die BIM-Objekte ab. Die geometrischen Unterteilungen werden bspw. in der Gestaltung übernommen und die Anforderungen der Pflanzen und Systeme bei der Platzierung der Begrünung am Gebäude berücksichtigt.

3.2. BIM-Planungswerkzeuge für Fassadenbegrünungen

Das Ziel der Diplomarbeit besteht darin, innovative Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung in BIM zu erstellen. Die erstellten BIM-Objekte werden in einer Begrünungsvorlage (REVIT-Projektvorlagendatei) gesammelt und für die Planung bereitgestellt. Das Verfahren zur Erstellung von BIM-Objekten für die Begrünung und die Anwendung der Planungswerkzeuge wird in Kapitel 4 beschrieben.

Die in dieser Diplomarbeit entworfenen BIM-Objekte werden in Autodesk REVIT als parametrisierte 3D-Bauteile erstellt. Dafür werden die üblichen Fassadenbegrünungssysteme herangezogen. Dazu gehört die bodengebundene Begrünung mit und ohne Kletterhilfen, zwei verschiedene fassadengebundene Begrünungssysteme und eine Mischform aus individuellen Trögen und Kletterhilfen. Die optische Gestaltung, vor allem die Flexibilität und Einfachheit und nicht zuletzt der Informationsgehalt werden bei der Erstellung der BIM-Objekte berücksichtigt. In Abbildung 11 wird der Prozess zur Planung der Fassadenbegrünungen in BIM dargestellt.

REVIT funktioniert wie eine Plattform zur Modellierung der BIM-Objekte. Es enthält die notwendigen BIM-Bestandteile, um die Begrünung zu erstellen. Auf Basis eines Ausgangsmodells oder einer anderen 3D-Geometrie, wie z. B. in einer Simulation generierten Geometrie, werden die Begrünungssysteme als vorgehängte Fassaden erstellt. Die in REVIT geplanten Begrünungssysteme können als IFC-Datei für die weiteren Planungsphasen exportiert werden. Die Daten der Begrünungssysteme werden dann für die Nachbearbeitung in MS PowerBI in Form von Tabellen vorbereitet und exportiert. Zum Betrachten der Ergebnisse in Virtual Reality wird die Software Twinmotion von Unreal verwendet. Die Abläufe der Nachbearbeitung werden in Kapitel 4.4.3 beschrieben.

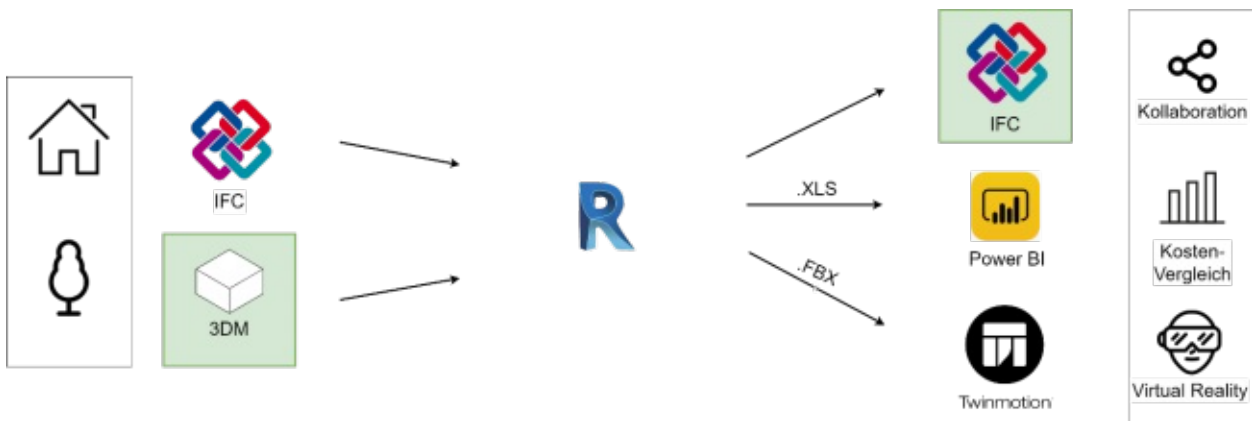


Abbildung 11 Software-Konstellation für Planung der Fassadenbegrünung in BIM

3.3. Konzeptionierung der Simulation von Fassadenbegrünungen

Die Vorteile der Automatisierung liegen darin, dass der Computer Aufgaben ohne Verzögerung und ohne menschliche Fehler wiederholt. Je nach Eingabedaten und Regeln werden verschiedene Ergebnisse berechnet und ausgegeben. Sind die Eingabedaten entsprechend strukturiert, kann das Programm, auch Skript genannt, sie jedes Mal neu interpretieren und berechnen. Die Regeln können sehr flexibel als Gruppen von Befehlen definiert werden. Nachträgliche Änderungen können auf einer robusten Grundlage ohne großen Aufwand implementiert werden.

Um eine Simulationsanwendung zu programmieren, sind Eingabedaten und Regeln erforderlich. Die Simulationsergebnisse können dann durch bestimmte Parameter gesteuert werden. Anhand eines Projektbeispiels werden die Ergebnisse in Diagrammen, Berechnungstabellen und 3D-Visualisierungen ausgewertet und dargestellt.

Für die Umsetzung eines automatisierten Simulationsprozess zur Begrünung von Gebäudefassaden wird der Ablauf in Abbildung 12 festgelegt.

Die Akteur*innen sind die Architekt*innen und die Fassadenplaner*innen, die die Begrünungssysteme anwenden. Aufgrund der neuen Anforderungen der BIM-Prozesse kann die Zusammensetzung der Planer*innen mit BIM-Manager*innen ergänzt werden. Die Regeln für die Begrünung werden in Kapitel 3.1 definiert und in der Automatisierung der Simulationsprozesse angewendet. Unter der Spalte BIM in Abbildung 12 versteht man das Ausgangsmodell, also die ursprüngliche Planung ohne Begrünung. Das Ausgangsmodell dient in den weiteren Schritten als Basis für die Planung der Begrünung und muss gewisse BIM-Anforderungen erfüllen, um weiter automatisiert bearbeitet werden zu können. Eine detaillierte Beschreibung der für die Automatisierung festgelegten BIM-Anforderungen ist in Kapitel 5.1 enthalten.

Das Ergebnis der Simulation sind mehrere Begrünungsvarianten für das Gebäude, in REVIT als Begrünungsoptionen bezeichnet. In der Simulation entstehen Datensätze für die erstellten Begrünungsvarianten, auf deren Basis dann in einem weiteren Schritt die Evaluierung erfolgt. In der Evaluierungsphase werden die Ergebnisse in Form von 3D-Darstellungen und Diagrammen verglichen.

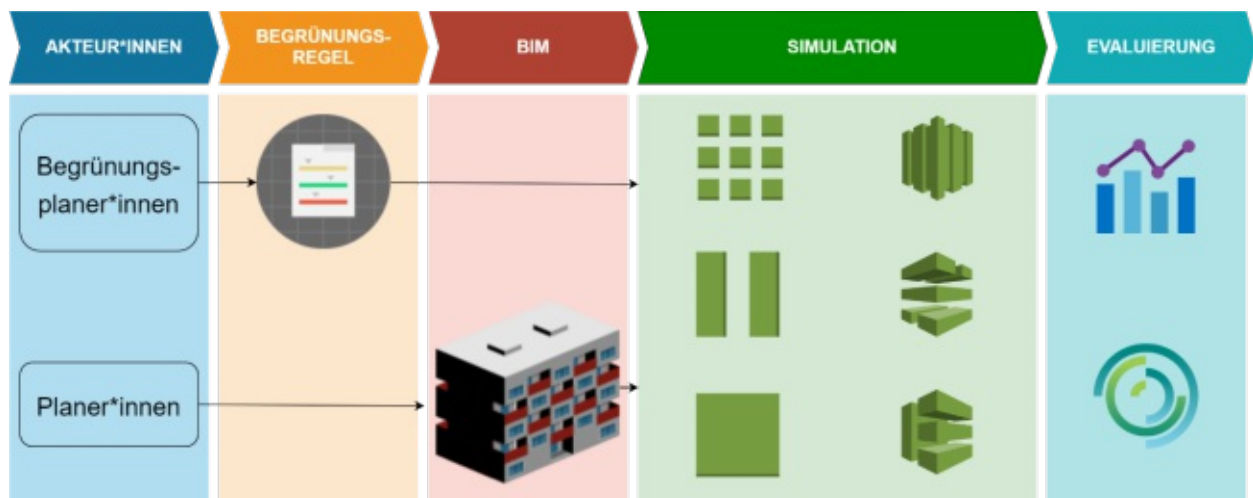


Abbildung 12 Konzeptionierung der Simulation von Fassadenbegrünungen

Methode

In Abbildung 13 wird der Ablauf der verwendeten Software-Programme zur Simulation der Fassadenbegrünungen in BIM dargestellt. Die Eigenschaften der angeführten Programme werden in Kapitel 2 ausführlich erläutert.



Abbildung 13 Software Konstellation für die Simulation von Fassadenbegrünungen

Das Simulationsskript wurde in Grasshopper für RHINO entwickelt. Zu Beginn werden die Daten aus dem Ausgangsmodell benötigt. Die IFC-Datei wird mittels des Add-Ins GeometryGimIFC ins Grasshopper eingelesen. Weiterhin benötigt das Skript zusätzliche Eingabeinformationen. Dazu zählen Angaben zu den Begrünungsvarianten und die festgelegten Regeln für die Begrünung. Per Knopfdruck werden dann die Begrünungsvarianten generiert. Die Ausgabedaten der Simulation sind 3D-Geometrien und Daten für die Fertigung von Diagrammen für die Evaluierung.

Die 3D-Geometrien können zum Austausch zwischen den Projektbeteiligten und für die weiteren Planungsphase verwendet werden, z. B. als Basisgeometrie zur Modellierung von Begrünungen in REVIT, wie in Kapitel 3.2 beschrieben. Die zum Schluss erstellten Diagramme stellen den Kostenvergleich der Begrünungssystemen dar.

3.4. Vergleichskriterien der Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse, der erfolgreichen Simulation werden anhand verschiedener Kriterien verglichen. Diese basieren auf den Abbildung 14 dargestellten Vergleichskriterien und werden im Folgenden in ihrer Bedeutung nach [6] erläutert.

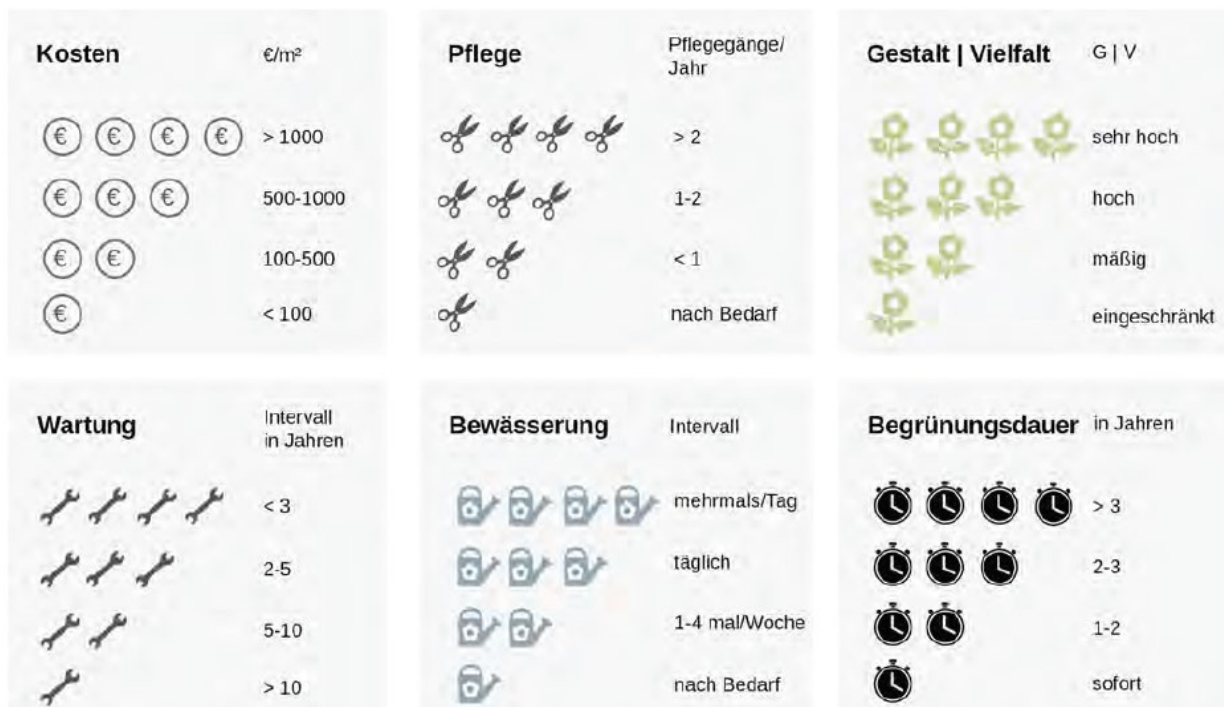


Abbildung 14 Symbole und Skala der Vergleichskriterien von Fassadenbegrünungen [6]

Kosten: Gibt die Anschaffungskosten des Systems in Euro pro m² an, d.h. Pflege- und Wartungskosten sind in dieser Skala nicht enthalten. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anschaffungskosten mit zunehmender Quadratmeterzahl sinken können, wobei diese je nach Hersteller sehr unterschiedlich sein können.

Wartung: Bietet Informationen über die Instandhaltungsintensität der strukturellen Bauteile eines Systems. Anhand der Skala ist ersichtlich, wie oft (Wartungsintervall in Jahren) das strukturelle System gewartet und/ oder überprüft werden muss.

Pflege: Diese Skala zeigt die Pflege-Intensität der vegetationstechnischen Bauteile eines Systems in Pflegegängen pro Jahr an. Die Erhaltungsskala umfasst u.a. die Pflege der Pflanzen (z. B. Schnitt), die Düngung sowie die Kontrolle von Bewässerung und Substrat. Ausgenommen davon sind Arbeiten, die mit der Kontrolle/ Instandhaltung des strukturellen Unterstützungssystems zu tun haben.

Bewässerung: Bestimmt, wie oft das System bewässert werden muss. Diese Skala ist unterteilt in Bewässerung pro Tag oder pro Woche oder nach Bedarf.

Gestalt und Vielfalt: Mit Hilfe dieser Skala wird ein Einblick in die Gestaltungsmöglichkeiten eines Systems gegeben. Im Einzelnen werden die folgenden Kriterien berücksichtigt: Artenvielfalt, Gestaltung, Variabilität und Flexibilität.

Dauer der Begrünung: Gibt an, wie lange es dauert, bis die gewünschte Dichte bzw. Bedeckung der Begrünung erreicht ist, sodass die Fassade weitgehend von der Bepflanzung bedeckt ist bzw. das gewünschte Erscheinungsbild erreicht ist (abhängig vom jeweiligen System, der zu begrünenden Fläche und dem Begrünungsziel).

3.5. Lebenszyklus des Gebäudes

Die folgenden Bereiche im Lebenszyklus eines Gebäudes werden durch Verwendung der in dieser Diplomarbeit erstellten BIM-Objekte abgedeckt:

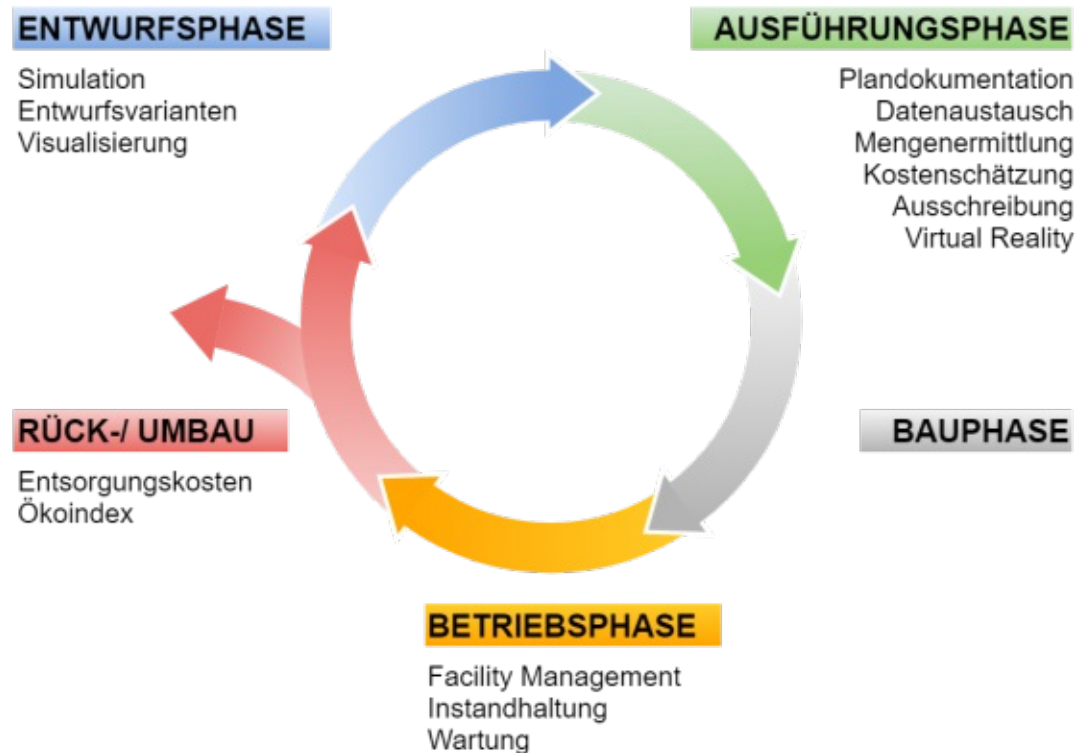


Abbildung 15 berücksichtigte Aspekte des Lebenszyklus eines Gebäudes

In der Entwurfsphase kann eine Simulation durchgeführt werden, um mehrere Begrünungsvarianten zu generieren. Die Visualisierung und der Kostenvergleich aus den Simulationsergebnissen haben das Ziel die Entscheidungsfindung für die richtige Begrünung zu erleichtern. Mit der Verwendung der erstellten BIM-Objekte ist eine normgerechte Darstellung der Pläne sichergestellt. Durch die Verwendung der Projektvorlage für die Begrünungen ist in der Ausführungsphase eine detaillierte Mengenermittlung möglich. Die Kostenschätzung und die Ausschreibung der Begrünungssysteme können dem modellierten Gebäudedatenmodell entnommen werden. Parameterlisten für die Nutzung, die Wartung in der Betriebsphase und die Entsorgung am Ende des Lebenszyklus sind ebenso vorhanden. Die Parameter der BIM-Objekte für die verschiedenen Projektphasen werden in Kapitel 4.2.2 genannt.

4. BIM-Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung

In diesem Kapitel werden innovative BIM-Planungswerkzeuge, wie BIM-Objekte und BIM-Vorlagen für Berechnungen der Fassadenbegrünung vorgestellt. Wie in Kapitel 3.2 bereits erläutert, wird dafür die Software Autodesk REVIT eingesetzt. Die Erstellung der BIM-Objekte ist das Hauptthema dieser Arbeit. Zunächst werden derzeit in Österreich am Markt verfügbare Begrünungssysteme untersucht und analysiert. Die für die Erstellung der BIM-Objekte erforderlichen Unterlagen werden anschließend anhand eines Beispiels erläutert. Abschließend wird die Anwendung der BIM-Objekte beschrieben.

4.1. Untersuchte Fassadenbegrünungssysteme

Im folgenden Abschnitt werden die üblichen Fassadenbegrünungssysteme, die als BIM-Objekte erstellt werden, näher betrachtet. Es werden zwei bodengebundene, zwei fassadengebundene Fassadenbegrünungssysteme und eine Mischform der Begrünung ausgewählt. Für die bodengebundenen Begrünungssysteme werden die Begrünungen mit und ohne Kletterhilfe ausgesucht. Für die fassadengebundenen Begrünungssysteme wird das Trogsystem und das Kassettensystem ausgesucht. Das gewählte Mischsystem entspricht der Dissertation von Nicole Pfoser und ist eine Kombination aus bodengebundener Begrünung mit Kletterhilfe und fassadengebundener Begrünung in Einzel- oder Linearbehältern [8]. Die Systemschnitte zu den Begrünungssystemen sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt. Die Bestandteile der Begrünungssysteme sind in den Abbildungen beschrieben.

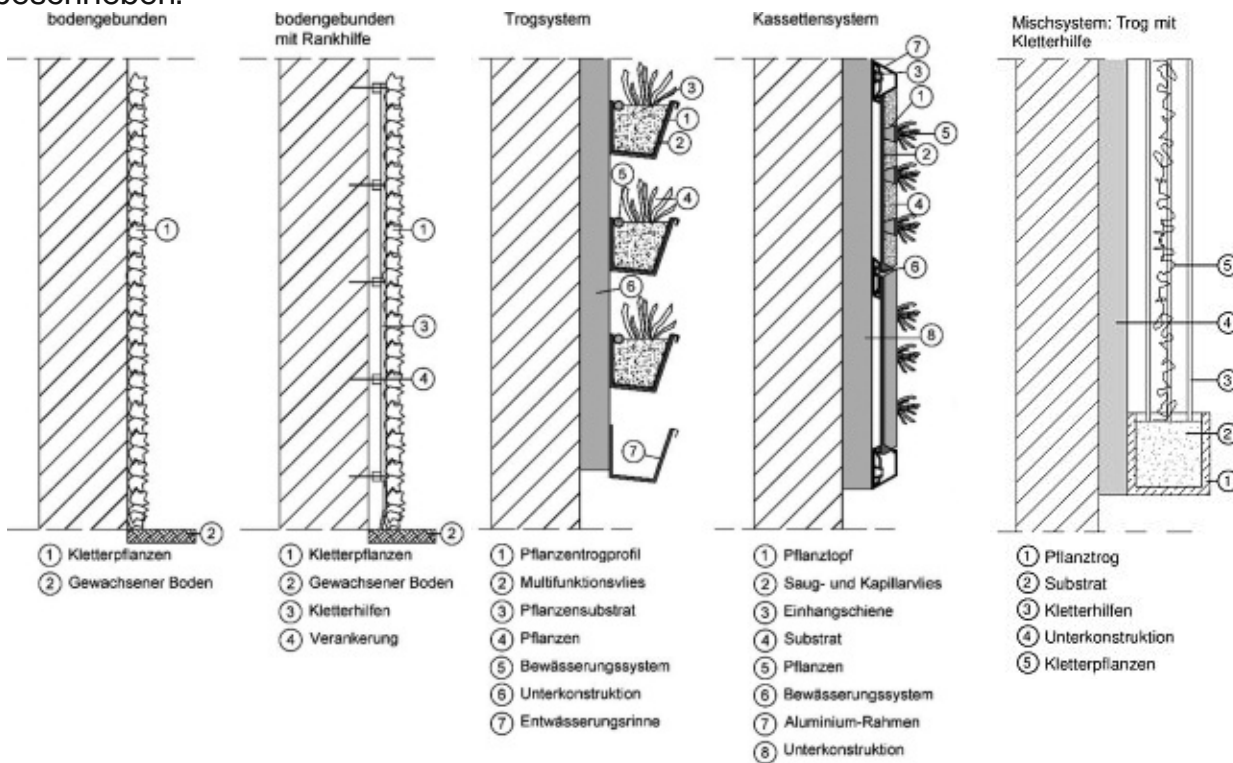


Abbildung 16 Untersuchte Begrünungssysteme [25]

Abbildung 17 Mischsystem

4.2. BIM-Objekte für die Fassadenbegrünung

Dieses Kapitel beschreibt die notwendigen Unterlagen zur Erstellung von BIM-Objekten für die Begrünung. Zu den Unterlagen gehören die Klassifizierung der Begrünungssysteme, die allgemeinen Produktinformationen, welche in den Produktdatenblättern zu finden sind, sowie Richtwerte für die Kosten (Abbildung 18).

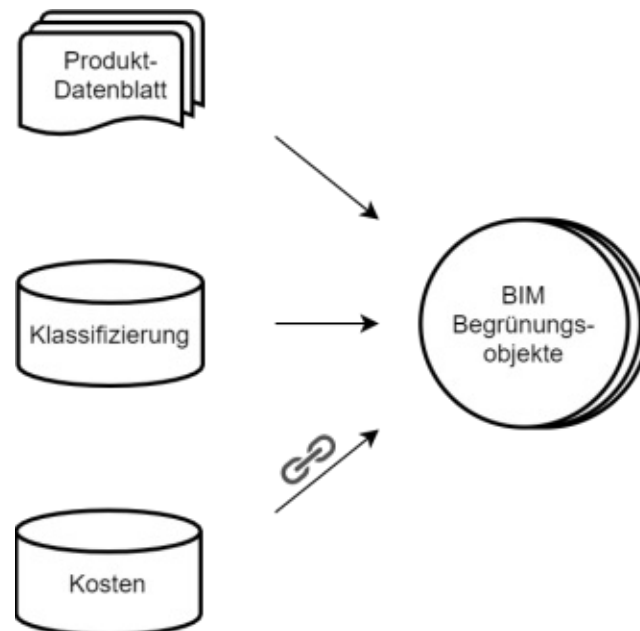


Abbildung 18 Vorausgesetzte Informationen zur Erstellung von BIM Begrünungsobjekten

4.2.1. Klassifizierung und Namensgebung

Um die Begrünungssysteme eindeutig zu unterscheiden, ist eine Klassifizierung notwendig. Keine der bestehenden internationalen Klassifizierung für die Standardisierung von Informationen in der Baubranche enthält genügend Klassen und Parameter, um die Begrünungssysteme miteinzubeziehen.

Die vorgeschlagene Klassifizierung der Begrünungssysteme beruht auf der Systematik zur Kategorisierung von Fassadenbegrünungen nach [8]. Es gibt zwei Gruppen von Fassadenbegrünungen – bodengebundene Begrünung (Gruppe A) und fassadengebundene Begrünung (Gruppe B) – als Unterscheidungskriterium wird dabei der „Standort der Begrünung“ herangezogen. So befindet sich bei fassadengebundener Begrünung der gesamte Lebensraum der Pflanze an der Fassade während bei der bodengebundenen Begrünung das an das Gebäude grenzende Erdreich als Standort für den Wurzelraum der Pflanze dient. Die genauen Anwendungsmöglichkeiten der Systeme werden im Leitfaden Fassadenbegrünung der Wiener Umweltschutzabteilung erläutert [6]. Die Klassifizierung, die in dieser Diplomarbeit verwendet wird, ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Klassifizierung Begrünungssysteme mit zugehörigen Bezeichnungen [8]

GREENCLASS NR.	GREENCLASS TITLE
Green.A	Bodengebundene Begrünung
Green.A.1	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe
Green.A.1.1	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe - Starr
Green.A.1.1a	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe - Starr - Flächig
Green.A.1.1b	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe - Starr - Linear
Green.A.1.2	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe - Flexibel
Green.A.1.2a	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe - Flexibel - Flächig
Green.A.1.2b	Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe - Flexibel - Linear
Green.A.2	Bodengebundene Begrünung - Ohne Kletterhilfe
Green.B	Fassadengebundene Begrünung
Green.B.1	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger
Green.B.1.1	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze 90 °
Green.B.1.1a	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze 90 ° - Baukastensystem
Green.B.1.1b	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze 90 ° - Gesamtsystem
Green.B.1.2	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze < 90 °
Green.B.1.2a	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze < 90 ° - Baukastensystem
Green.B.1.2b	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze < 90 ° - Gesamtsystem
Green.B.2	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger
Green.B.2.1	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger - Linear
Green.B.2.1a	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger - Linear < 50 cm Abstand
Green.B.2.1b	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger - Linear > 50 cm Abstand
Green.B.2.2	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger - Punktuell

Die Zuordnung von Klassen ist wichtig für die Gruppierung und Sortierung der Begrünungssysteme und deren Bestandteile in den später erstellten Berechnungstabellen. Ohne diese Zuordnung könnten die Berechnungen nicht ordnungsgemäß durchgeführt werden. Gleichartige Begrünungssysteme in den Tabellen können auf diese Weise aufsummiert und gruppiert werden. Die Klassifizierung basiert auf zwei Parametern: GREENCLASS NUMBER und GREENCLASS TITLE. Die Klassen wurden bei der Erstellung den vorhandenen BIM-Objekten zugeordnet. Beim Anlegen neuer Fassadenwandtypen oder beim Duplizieren der vorhandenen Typen in REVIT muss die Zuordnung der Klasse überprüft werden. Die Klassen neuer BIM-Objekte müssen entsprechend der Tabelle 3 zugeordnet werden. Neue Klassen müssen in der gleichen Form eingefügt werden. In Sinne der Vereinfachung wurde für die Begrünungssysteme die folgende Namensgebung in englischer Sprache gewählt. Sie basiert auf der Gliederung nach [26]. Diese Gliederung ist in Abbildung 19 dargestellt. Gleichzeitig ist die Gliederung an die Klassifizierung in Tabelle 3 angelehnt.

BIM-Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung

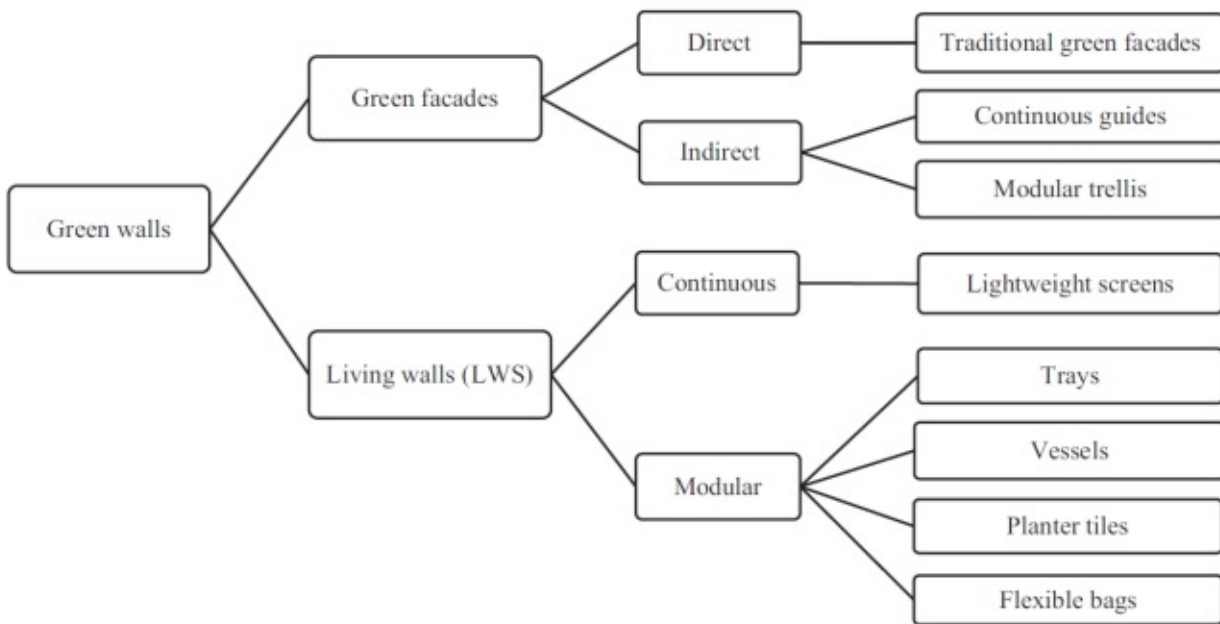


Abbildung 19 Klassifizierung der Begrünung [26]

Die bodengebundene Begrünung wird als GREEN-FACADE bezeichnet und wird in DIRECT (ohne Kletterhilfe) und INDIRECT (mit Kletterhilfe) unterteilt. Weiterhin wird die Art der Kletterhilfe spezifiziert: NO-SUPPORT für die Begrünung ohne Kletterhilfe und COUNTINOUS-GRIDS für die Begrünung mit flächigen Kletterhilfen. Die fassadengebundene Begrünung wird als LIVING-WALL bezeichnet. Sie unterteilt sich in CONTINOUS (kontinuierliches Gesamtsystem), MODULAR (Baukastensystem) und INDIVIDUAL (punktuell).

Für diese Gliederung der BIM-Objekte werden folgende Parameter definiert: GREENING TYPE, GREENING TYPE 2, GREENING MEDIUM TYPE und REVIT CATEGORY. Für die Parameter werden Listenwerte wie in Abbildung 20 vordefiniert.

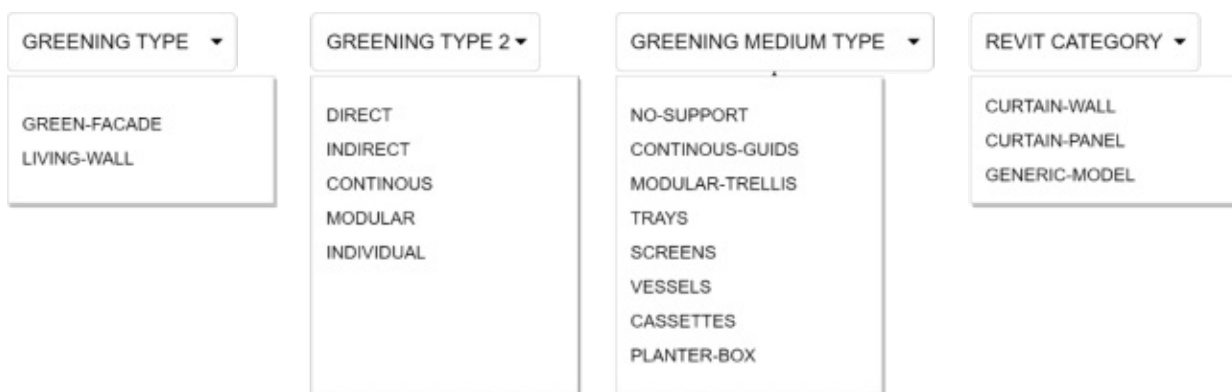


Abbildung 20 Gliederung der BIM-Objekte für Begrünung

Die ersten drei Parameter entsprechen der Klassifizierung der Begrünung in Abbildung 19. Die Auswahlmöglichkeiten für den dritten Parameter werden geringfügig adaptiert. Diese Listenwerte beinhalten keinesfalls alle möglichen Begrünungssysteme, sondern sie können weiterentwickelt werden. Die Benennung der BIM-Objekte wird durch diese Parameter bestimmt. Der Parameter REVIT CATEGORY wird für die Eindeutigkeit der Bestandteile der BIM-Objekte in der Software selbst hinzugefügt. Die Zusammensetzung der BIM-Objekte wird in Kapitel 4.2.3 erklärt.

Die daraus resultierenden Benennungen der für die Erstellung der BIM-Objekte ausgewählten Begrünungssysteme und die Zuordnung der Klassifizierung sind in Tabelle 4 dargestellt. Das beschriebene System zur Namensgebung wird auch für andere Bestandteile der REVIT-Projektvorlage, wie Entwurfsoptionen, Unterkategorien, usw. verwendet.

Tabelle 4 Namensgebung BIM-Objekte für Begrünung

GREENCLASS NUMBER	GREENCLASS TITLE	Name BIM-Objekt
Green.A.1.1	Bodengebundene Begrünung – Mit Kletterhilfe	GREEN-FACADE_INDIRECT_CONTINUOUS-GUIDS_GENERIC-MODEL/ CURTAIN-PANEL/ CURTAIN_WALL
Green.A.1.2	Bodengebundene Begrünung – Ohne Kletterhilfe	GREEN-FACADE_DIRECT_NO-SUPPORT_GENERIC-MODEL/ CURTAIN-PANEL/ CURTAIN_WALL
Green.B.1.2	Fassadengebundene Begrünung - Vollflächiger Vegetationsträger - Lage der Pflanze < 90 °	LIVING-WALL_MODULAR_CASSETTES_GENERIC-MODEL/ CURTAIN-PANEL/ CURTAIN_WALL
Green.B.2.1	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger - Linear	LIVING-WALL_CONTINUOUS_TRAYS_GENERIC-MODEL/ CURTAIN-PANEL/ CURTAIN_WALL
Green.B.2.2	Fassadengebundene Begrünung - Teilflächiger Vegetationsträger - Punktuell	LIVING-WALL_INDIVIDUAL_PLANTER-BOX_GENERIC-MODEL/ CURTAIN-PANEL/ CURTAIN_WALL

Die Parameter für die Klassifizierung und Gliederung der Begrünungssysteme werden in einer Parameter-Liste zur Verfügung gestellt. Diese ist in Tabelle 5 abgebildet und enthält Parameternamen und eine kurze Beschreibung dazu.

Tabelle 5 Parameter für die Klassifizierung und Gliederung

Parametername	Beschreibung
GREENCLASS NUMBER	Klassifizierungsnummer
GREENCLASS TITLE	Klassifizierungstitel
GREENING_TYPE	Begrünungssystem
GREENING_TYPE2	Art des Begrünungssystem
GREENING_MEDIUM_TYPE	Vegetationsträger
REVIT_CATEGORY	REVIT Kategorie
GREENING_OPTION	Begrünungsvariante

4.2.2. Produktinformationen/ Standardisierte Eigenschaften-Datenbanken für die Lebenszyklusphasen

Vor der Erstellung eines BIM-Objektes müssen Recherchen durchgeführt werden und alle Informationen gesammelt werden, die dann in das BIM-Objekt einfließen werden. Dazu gehören bezogen auf die Begrünung Anleitungen bezüglich Funktion, Konstruktion, Montage und Planung, Informationen zu den Kosten, sowie weitere Informationen für die Nutzung der Begrünungssysteme. Diese Daten können z.B. von Begrünungssystem-hersteller*innen bezogen werden. Es besteht Bedarf an realistischen Kosten-Richtwerten für die Begrünungssysteme, da diese die Entscheidungsfindung beeinflussen, insbesondere in der früheren Projektphase. Idealerweise sind diese in Datenbanken abrufbar, die automatisch aktualisiert werden. In der Praxis ist dies zurzeit noch nicht der Fall. Eine Zentralisierung dieser Daten ist für die Zukunft erwünscht und notwendig, um aufbauend auf diesen

BIM-Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung

Informationen die Entscheidungsfindung zu erleichtern. Die Zentralisierung der für die Begrünungssystemen notwendigen Daten ist in Kapitel 7.3 Ausblick beschrieben.

Ein in Entwicklung befindlicher Lösungsansatz für eine standardisierte Eigenschaft-Datenbank im Bauwesen ist das freeBIM-Projekt. Die Funktionsweise dieser Plattform ist im Kapitel 2.3 beschrieben.

Die Familien der Fassadenbegrünungssysteme können idealerweise auf dem freeBIM Bauteilserver hochgeladen und den Planer*innen zu Verfügung gestellt werden. So können Änderungen bezüglich Kosten, Langtexte für Ausschreibungen, Planungs- und Bauangaben und Daten für das Facility Management jederzeit mit den aktuellen Werten synchronisiert werden. Die Listen der in dieser Arbeit verwendeten freeBIM-Parameter werden im Anhang Kapitel 13 gezeigt. Die ersten zwei Spalten der Tabellen bezeichnen die Projektphase. Die dritte Spalte beinhaltet den Parameternamen und die vierte Spalte beinhaltet die Beschreibung der Parameter in deutscher Sprache laut [13]. Die Parameter-Listen sind nach Planungsphase chronologisch sortiert.

Auf Grundlage der untersuchten Standardisierungen (freeBIM-Merkmalserver und IFC) und der gemeinsamen Informationen auf Websites und in Produktdatenblättern verschiedener Begrünungssystemhersteller*innen, werden in dieser Arbeit die notwendigen Parameter für Begrünungssysteme definiert und in folgende Parametergruppen eingeteilt:

- Parameter für die Klassifizierung
- Parameter für alle Planungsphasen
- Parameter für die Kostenermittlung und die Ausschreibung
- Parameter für das Facility Management
- Parameter für die Ökobilanz
- Allgemeine IFC-Parameter

Diese Parametergruppen werden im Folgenden beschrieben und erläutert.

Parameter für die Klassifizierung

Die Parameter für die Klassifizierung und Gliederung wurden in Kapitel 4.2.1 definiert.

Parameter für alle Planungsphasen

Die für die verschiedenen Planungsphasen notwendigen Parameter aus dem freeBIM-Merkmalserver sind im Anhang Kapitel 13.1 in Tabelle 18 angehängt.

Darüber hinaus werden notwendige Materialparameter und Parameter für die Vergleichskriterien der Fassadenbegrünungssysteme definiert. Diese sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 6 Materialparameter für die BIM-Objekte

Parameter Name	Beschreibung
GREENING_MATERIAL_GUIDS	Material Kletterhilfen
GREENING_MATERIAL_IRRIGATION-PIPE	Material Bewässerungsschlauch
GREENING_MATERIAL_MEDIUM	Material Vegetationsträger
GREENING_MATERIAL_MEMBRANE	Material Vlies
GREENING_MATERIAL_PLANTS	Material Bepflanzung
GREENING_MATERIAL_SUBSTRATE	Material Substrat

Tabelle 7 Parameter für Vergleichskriterien

Parameter Name	Beschreibung
GREENING_MAINTENANCE-INTERVALS	Wartungsintervalle Begrünungen
GREENING_MAINTENANCE-INTERVALS_PLANTING	Pflegeintervalle Bepflanzung
GREENING_WATERIN-INTERVALS	Bewässerungsintervalle
GREENING_FORM-VARIETY	Form und Vielfalt
GREENING_DURATION	Dauer der Begrünung

Parameter für die Kostenermittlung

Wie in Kapitel 3.4 erwähnt, werden die Kosten in Errichtungskosten, Folgekosten und Entsorgungskosten unterteilt. Ein üblicher Weg zur Berechnung der Gesamtkosten, der auch in dieser Arbeit angewendet wird, ist die Multiplikation der Quadratmeteranzahl der begrüneten Fläche mit einem marktüblichen Kostenrichtwert. Die Errichtungskosten basieren dabei auf den Angaben der Hersteller*innen bzw. können aus bereits abgeschlossenen Projekten herangezogen werden. Unter Folgekosten werden alle im Verlauf der Nutzung der Begrünungssysteme anfallenden Kosten zusammengefasst. Hierzu zählen nicht nur die Kosten für die Pflege der Begrünung, sondern auch für technische Wartung bspw. der Bestandteile der Bewässerung. Die Entsorgungskosten umfassen neben der Entsorgung der Baurestmassen auch den Vorgang des Abbruchs des begrüneten Teils der Fassadenkonstruktion.

Die Kostenparameter in Tabelle 8 sind für die Erstellung der Bauteillisten (Kapitel 4.3.2) und den späteren Kostenvergleich erforderlich.

Tabelle 8 Kostenparameter

Parameter Name	Beschreibung
GREENING_PLANING-COST	Planungskosten
GREENING_PRODUCTION-COST	Errichtungskosten
GREENING_MAINTAINANCE-COST	Instandhaltungskosten
GREENING_DISPOSAL-COST	Entsorgungskosten
GREENING_FRAMING-COST	Kosten Unterkonstruktion
GREENING_TOTAL-COST	Kosten Begrünungsfläche

Mit Hilfe dieser Kostenparameter werden den Begrünungssystemen folgende Kosten-Richtwerte für die Berechnungen vorgegeben, wie in Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 9 Kosten-Richtwerte für die Berechnung der Fassadenbegrünungssysteme

Begrünungssystem	Kosten						
	Errichtung			Pflege und Instandhaltung (jährlich)		Abbruch und Entsorgung	
	€	€/lfm	€/m ²	€	€/m ²	€/m ²	
Bodengeb. Begrünung – mit Kletterhilfe	-	25	50	900	10	10	[25]
Bodengeb. Begrünung – ohne Kletterhilfe	-	25	-	900	8	5	
Kassettensystem	500	-	1,050	900	50	31	[27]
Trogssystem	500	-	880	900	38	22	[25]
Mischsystem: Trog und Kletterhilfe	500	175	120	900	30	20	

Diese Kostenangaben sind nur als Richtwerte zu betrachten und können stark variieren. Eine größere Datenbank, wo auch Erfahrungswerte eingearbeitet werden, ist für eine genauere Kostenplanung unbedingt notwendig.

Die Kosten für das bodengebundene Begrünungssystem mit Kletterhilfe und für das Trogssystem basieren auf [25]. Darin wurden die Kostenrichtwerte für die einmaligen Planungskosten mit 500 € und die Kosten für den jährlichen Hubsteiger-Einsatz mit 900 € der Arbeit festgelegt. [25]

Für das Kassettensystem wurden die Kosten-Angaben aus [27] übernommen: 1050 €/m² für die Begrünungspaneele, inklusive Unterkonstruktion und Zubehör.

Für die bodengebundene Begrünung wurde folgende Annahme getroffen. Die Kosten für das Begrünungssystem ohne Kletterhilfe entsprechen der Errichtungskosten des Systems mit Kletterhilfen ohne die Kosten für die Kletterhilfen. Sowohl die Pflege- und Instandhaltungskosten als auch die Abbruch- und Entsorgungskosten für das System liegen niedriger als die des komplexeren Begrünungssystem mit Kletterhilfe.

Für das Mischsystem wurde eine weitere Annahme getroffen. Die Errichtungskosten für den Laufmeter Trog entsprechen anderer am Markt existierenden Beton-Bauteile mit ähnlicher Form und wurden auf 175 € pro Laufmeter berechnet. Darin sind auch die 25€ pro Laufmeter Kletterpflanzen enthalten. Zu den Errichtungskosten zählen auch die Kosten für das Klettergerüst und die Unterkonstruktion der Betontröge mit 120 €/m² dazu. Sowohl die Pflege- und Instandhaltungskosten als auch die Abbruch- und Entsorgungskosten für das System wurden niedriger als die Kosten des Trogsystems und deutlich höher als die Kosten des bodengebundenen Begrünungssystem mit Kletterhilfe angenommen.

Im Anhang Kapitel 13.1 in Tabelle 19 sind weitere freeBIM-Parameter der Klasse Fassade für die Kostenermittlungsphase ersichtlich.

Parameter für das Facility Management

Im Anhang Kapitel 13.1 sind die freeBIM-Parameter für die Nutzung, den Betrieb und die Wartung in Tabelle 20 aufgelistet. In Tabelle 21 sind die freeBIM-Parameter für den Rückbau ersichtlich.

Allgemeine IFC-Parameter [10]

Die allgemeinen IFC-Parameter dienen zum reibungslosen Austausch der BIM-Modelle zwischen den Projektbeteiligten.

In Tabelle 22, Tabelle 23 und Tabelle 24 sind die allgemeinen IFC-Parameter für die Kategorien Fassade, Fassadenelement und Fassadenprofile aufgelistet, die den BIM-Objekten zugeordnet werden.

Parameter für die Ökobilanz

Die Berechnungsgrundlagen für die Ökobilanz sind dem Ökoindex-Leitfaden [28] zu entnehmen. Eine Alternative bietet auch BuildingSMART [10]. Durch die Zuordnung der richtigen Materialien der Bestandteile der BIM-Objekte und die Hinterlegung der notwendigen ökologischen Parameterwerten im BIM-Modell kann die Ökobilanz direkt abgerufen werden. Das Thema der Ökobilanz wird in dieser Diplomarbeit nicht behandelt, sondern ist als weiterführender Schritt angemerkt und im Kapitel 7.3 näher beschrieben.

4.2.3. Zusammensetzung der BIM-Objekte in REVIT

Der Aufbau der BIM-Objekte in REVIT wird in diesem Abschnitt allgemein dargestellt. Im Grunde werden für die Modellierung der Begrünungssysteme die Werkzeuge Fassadenwand und Fassadensystem verwendet. Diese bestehen aus Fassadenelementen, die wie in Abbildung 21 dargestellt in ein Fassadenraster system eingesetzt werden.

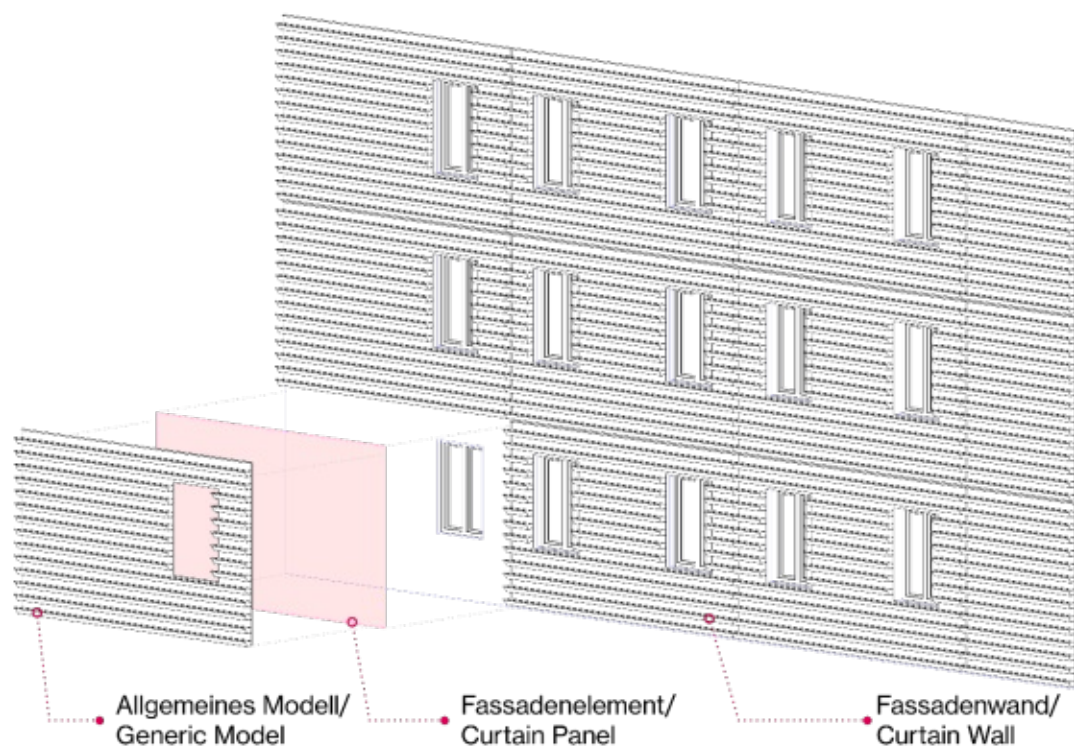


Abbildung 21 Zusammensetzung Begrünungs-Fassadenwand in REVIT

Fassadenwand/ Fassadensystem

Fassadenwände und Fassadensysteme sind in REVIT zwei unterschiedliche systembasierte Werkzeuge, die aber gleiche Einstellungen besitzen. Die Fassadenwand wird wie eine übliche Wand durch Eingabe von zwei Punkten modelliert. Im Gegensatz zur Fassadenwand wird ein Fassadensystem auf den Flächen eines Projektkörpers platziert. Die Anleitung zur Anwendung von Fassadenwänden und Fassadensystemen wird in Kapitel 4.4 erläutert.

In den Einstellungen der beiden Systemfamilien wird die Zuweisung der Fassadenelemente festgelegt und die Unterteilung bestimmt. Das Fassadenrasterystem besteht aus vertikalen und horizontalen Fassadenrastern, die in einer Reihe angeordnet sind. Entlang des horizontalen und vertikalen Fassadenrasters können Pfosten mit unterschiedlichen Profilen gesetzt werden. Fassadenelemente werden in die resultierenden Rasterfelder eingefügt. Für die untersuchten Fassadenbegrünungssysteme werden verschiedene Einstellungen in REVIT vorgenommen. Sie unterscheiden sich in Bezug auf die möglichen Modulgrößen der Systeme. Besteht ein System nicht aus Modulen, wie z. B. die bodengebundenen Begrünungen und das Trogsystem, so erfolgt keine horizontale oder vertikale Unterteilung der Fassadenwand/des Fassadensystems. Sowohl die Einstellungen der Unterteilung als auch die Zuweisung der Fassadenelemente sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 10 Fassadenwand-Einstellungen für bodengebundene Begrünung in REVIT

Familie	Fassade
Typ	GREEN-FACADE_DIRECT_NO-SUPPORT_CURTAIN-WALL
Konstruktion	
Fassadenelemente	GREEN-FACADE_DIRECT_NO-SUPPORT_CURTAIN-PANEL
Vertikales Raster	
Layout	Keine
Abstand	-
Horizontales Raster	
Layout	Keine
Abstand	-
Familie	Fassade
Typ	GREEN-FACADE_INDIRECT_CONTINUOUS-GUIDS_CURTAIN-WALL
Konstruktion	
Fassadenelemente	GREEN-FACADE_INDIRECT_CONTINUOUS-GUIDS_CURTAIN-PANEL
Vertikales Raster	
Layout	Keine
Abstand	-
Horizontales Raster	
Layout	Keine
Abstand	-

Tabelle 11 Fassadenwand-Einstellungen für fassadengebundene Begrünung in REVIT

Familie	Fassade
Typ	LIVING-WALL_MODULAR_CASSETTES_CURTAIN-WALL
Konstruktion	
Fassadenelemente	LIVING-WALL_MODULAR_CASSETTES_CURTAIN-PANEL
Vertikales Raster	
Layout Abstand	Festgelegte Entfernung 0.60 m
Horizontales Raster	
Layout Abstand	Festgelegte Entfernung 2.00 m
Familie	Fassade
Typ	LIVING-WALL_CONTINUOUS_TRAYS_CURTAIN-WALL
Konstruktion	
Fassadenelemente	LIVING-WALL_CONTINUOUS_TRAYS_CURTAIN-PANEL
Vertikales Raster	
Layout Abstand	Keine -
Horizontales Raster	
Layout Abstand	Keine -
Familie	Fassade
Typ	LIVING-WALL_INDIVIDUAL_PLANTER-BOX_CURTAIN-WALL
Konstruktion	
Fassadenelemente	LIVING-WALL_INDIVIDUAL_PLANTER-BOX_CURTAIN-PANEL
Vertikales Raster	
Layout Abstand	Festgelegte Entfernung 4.00 m
Horizontales Raster	
Layout Abstand	Festgelegte Entfernung 6.00 m

Fassadenelemente/ Begrünungspaneele

Die Fassadenelement-Familie, als Hauptfamilie bezeichnet, wird das eigentliche Fassadenbegrünungsobjekt, wie in Abbildung 21 dargestellt beinhalten. Das Fassadenbegrünungsobjekt, auch als verschachtelte Familie bezeichnet wird der Kategorie Allgemeines Modell zugeordnet und als gemeinsam-genutzte Familie definiert. Das hat zur Folge, dass dieses Objekt, obwohl es zu einer Fassadenwand gehört, dennoch ein individuelles Objekt des Projekts ist. Jede Änderung wirkt sich auf alle im Projekt vorhandenen Exemplare aus. Gleichzeitig können die Parameter ausgelesen werden und so die vorprogrammierten Berechnungstabellen ausgefüllt werden. Da es allerdings in einer Fassadenwand verwendet wird, variieren die Abmessungen auf der Grundlage des in den Fassadenwandeinstellungen definierten Fassadenrasterabstands: die Fassadenwand bestimmt die Abmessungen der Paneele durch die vorher definierten Einstellungen des Fassadenrasters. Eine detaillierte Beschreibung, wie die in Abbildung 22 dargestellten BIM-Objekte erstellt werden, befindet sich im Kapitel 4.2.4, in dem die Erstellung dieser BIM-Objekte in REVIT erklärt wird.

BIM-Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung

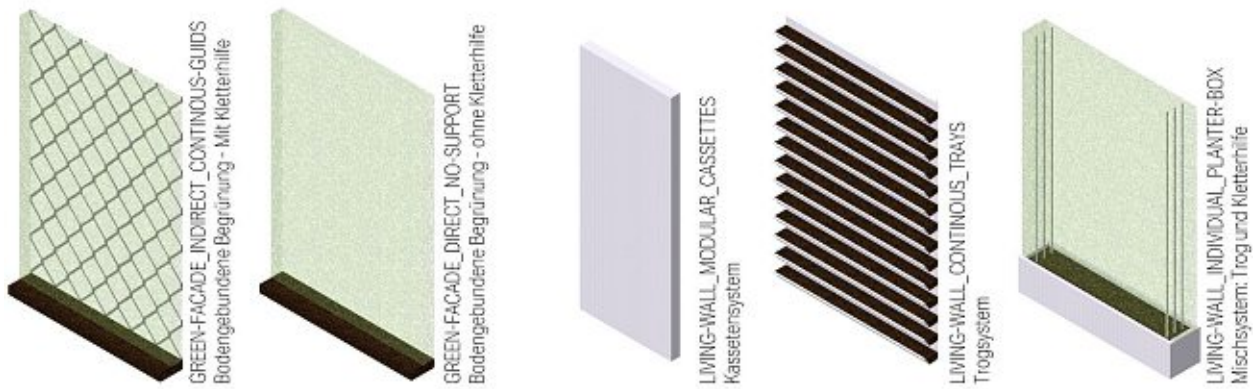


Abbildung 22 BIM-Objekte für Fassadenbegrünungssysteme

4.2.4. Erstellung der BIM-Objekte

Eine realitätstreue Abbildung und Funktionsweise der Objekte innerhalb der Software ist zu analysieren und anzustreben. Dazu ist eine gründliche Vorbereitung erforderlich, um ihre Funktionsweise zu bestimmen und die Auswahl der Eigenschaften zu definieren. Der beste Weg mit der Erstellung einer REVIT-Familie zu beginnen besteht darin, bereits zu Beginn so detailliert wie möglich zu definieren, wie die Familie im Projekt aussehen, funktionieren und welche Informationen sie enthalten muss. Handzeichnungen und Parameterlisten sind empfehlenswert, um einen leichten Start bei der Erstellung der Familie zu ermöglichen. Darüber hinaus muss die Erstellung komplexer Objekte dokumentiert werden, damit spätere Änderungen für die Benutzer*innen nicht zu einem Problem werden. Für die besten Ergebnisse bei der Erstellung einer Familie wird der folgende Arbeitsablauf verwendet: Auswahl der Familienvorlage, Unterkategorien definieren, Familienskelett definieren, Parameter hinzufügen und Geometrie erstellen. Die Schritte zur Erstellung der BIM-Objekte werden im Folgenden beschrieben.

Schritt 1 Auswahl der Familienvorlage

Für die Erstellung der BIM-Objekte in dieser Diplomarbeit werden drei Familienvorlagen für REVIT verwendet: eine Allgemeines-Modell-Vorlage für die freistehende Familie, eine zweite Vorlage für die Fassadenelementfamilie, wo die freistehende Familie verschachtelt wird, und eine dritte Familienvorlage für verschiedene Profil-Bestandteile der Begrünungssysteme, wie z. B. Tröge. Die vorher beschriebene Zusammensetzung ist in der Abbildung 21 dargestellt. Die vom Herausgeber der Software zur Verfügung gestellten Familienvorlagen können verwendet werden, jedoch ist zu empfehlen diese vorher zu bereinigen und einheitlich zu gestalten, damit die weitere Erstellung der Familien organisiert durchgeführt werden kann.

Schritt 2 Definition der Unterkategorien

Die Unterkategorien, ähnlich wie die Layers in herkömmliche CAD-Programme werden definiert, um die Sichtbarkeit der Familiengeometrie, die Darstellung in den Projektansichten und im Plan zu steuern und um die Festlegung der verwendeten Materialien zu erleichtern. Die Unterkategorien für Modellkategorien werden wie in Tabelle 12 benannt.

Tabelle 12 Unterkategorien der BIM-Objekte

Unterkategorie	Beschreibung
GREENING_AREA_CALCULATION	Flächenberechnung
GREENING_GUIDS	Geometrie der Kletterhilfen
GREENING_MEDIUM	Geometrie der Vegetationsträger
GREENING_PLANTS	Volumenkörper für die Bepflanzung
GREENING_SUBSTRATE	Volumenkörper des Substrates

Schritt 3 Definition des Familienskeletts

Als nächstes wird das Familienskelett bestehend aus Referenzebenen und Bemaßungslinien erstellt:

- Der Ursprung (der Einfügepunkt) der Familie wird definiert und mit einem Symbol markiert. Dieses überlagert sich mit dem Schnittpunkt der Referenzebenen für die drei Richtungen des Koordinatensystems, die den Ursprung definieren.
- Die Referenzebenen werden festgelegt. Sie bilden das Hauptgerüst der Familien und vereinfachen die Erstellung der Geometrien in der Familie. Die Referenzebenen werden beschriftet: TOP, BOTTOM, LEFT, RIGHT, FRONT und BACK
- Bemaßungslinien werden erstellt, um parametrische Beziehungen zwischen den Referenzebenen festzulegen. Als erstes wurden die Hauptdimensionen und dann sekundäre Abmessungen festgelegt.
- Die im Kapitel 4.2.2 aufgelisteten Parameter werden hinzugefügt.

Schritt 4 Hinzufügen der Parameter

Die notwendigen Parameter werden der Familie hinzugefügt und die objektbezogenen Parameterwerte werden ausgefüllt. Die Abmessungsparameter werden den Bemaßungslinien innerhalb der Familie zugewiesen, um sie flexibel und parametrisch zu gestalten. Informationsparameter, die bauteilspezifische Daten enthalten, werden anhand der Produktinformationen ausgefüllt, um das Objekt zu beschreiben. Dazu gehören Eigenschaften wie Klassifikation des Begrünungssystems, Pflegeangaben, Kosten und weitere im Lebenszyklus des Gebäudes notwendige Eigenschaften. Diese Parameter werden als gemeinsam-genutzte Parameter deklariert, damit sie in allen angelegten Familien verwendet werden können und in Bauteillisten und Beschriftungsfamilien im Projekt abrufbar sind.

Schritt 5 Erstellen der Geometrie

In dieser Diplomarbeit wird ein einziger Detaillierungsgrad der Geometrie abgebildet. Dafür werden Volumenkörper und Abzugskörper verwendet und die Geometriekanten werden mit den Referenzebenen verknüpft. In diesem Schritt ist auf die Zuweisung der Unterkategorien, der Materialien und des Detaillierungsgrades für die Sichtbarkeit zu achten. Die Zuordnung der Parameter für die Abmessungen müssen berücksichtigt werden. In allen Familien wird eine dünne Extrusion für eine genaue Berechnung der Begrünungsfläche erstellt. Die Unterkategorie GREENING_AREA_CALCULATION wird dafür verwendet. Ab diesem Schritt werden die einzelnen Familien für die untersuchten Begrünungssysteme individualisiert.

Schritt 6 Individualisierung der Familien

Um die unterschiedlichen Begrünungsarten abzubilden, werden die Familien individualisiert. Die unterschiedlichen Vorgehensweisen werden im Folgenden entsprechend beschrieben.

Bodengebundene Begrünung ohne Kletterhilfe

Es werden zwei Extrusionen, eine für die Bepflanzung und eine für den gewachsenen Boden, erstellt. Die Extrusionen werden den Unterkategorien GREENING_PLANTS und GREENING_SUBSTRATE zugeteilt. Beiden Extrusionen werden auch die Parameter MATERIAL_PLANTS und MATERIAL_SUBSTRATE zugeordnet. Die Ansichten der Familien sind in Abbildung 23 dargestellt.

Bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe

Die Familie für das bodengebundene Fassadensystem mit Kletterhilfe wird ähnlich aufgebaut. Eine zusätzliche Extrusion wird erstellt, um die Kletterhilfen zu repräsentieren. Die Unterkategorie GREENING_MEDIUM und der Parameter MATERIAL_GUIDS werden der Extrusion zugewiesen. Die Ansichten der Familien sind in Abbildung 24 dargestellt.

GREEN-FACADE_DIRECT_NO-SUPPORT
Bodengebundene Begrünung - ohne Kletterhilfe

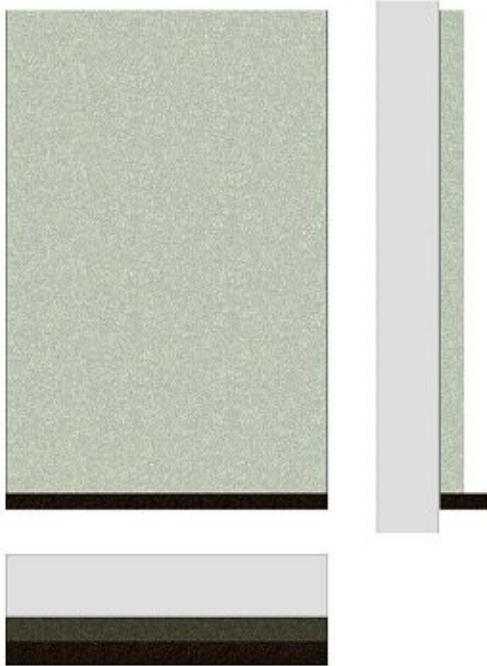


Abbildung 23 BIM-Objekt
Bodengebundene Begrünung ohne
Kletterhilfe: Frontal-/ Schnitt-/
Grundrissdarstellung

GREEN-FACADE_INDIRECT_CONTINUOUS-GUIDS
Bodengebundene Begrünung - Mit Kletterhilfe

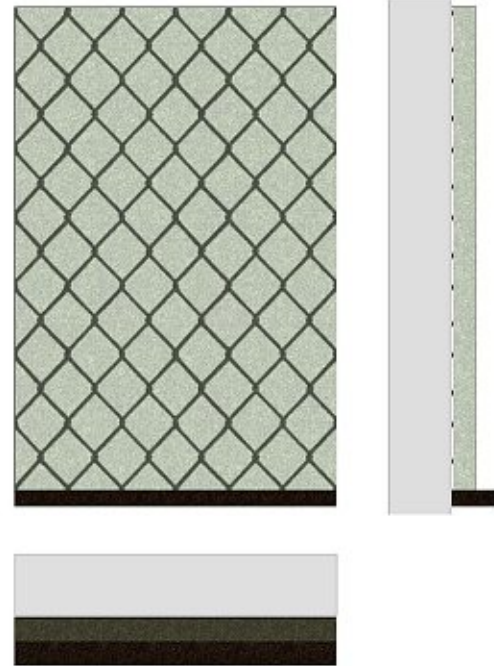


Abbildung 24 BIM-Objekt Bodengebundene
Begrünung mit Kletterhilfe: Frontal-/
Schnitt-/ Grundrissdarstellung

Fassadengebundene Begrünung – Kassetensystem

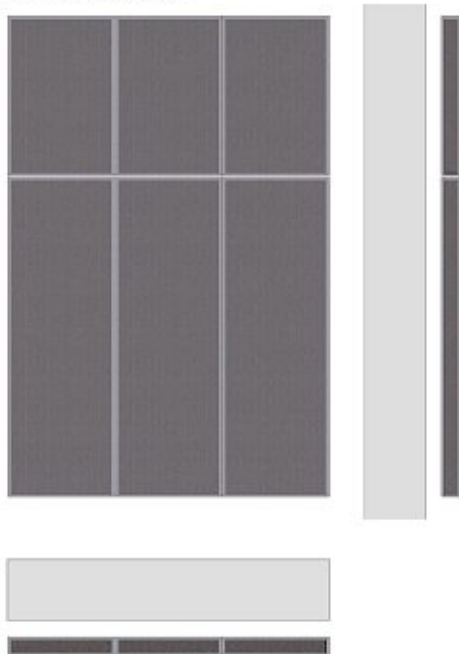
Für die Familie für das Kassetensystem werden mehrere Extrusionen und Abzugskörper verwendet. Die Geometrien des Aluminium-Gehäuses und des Substrats werden damit repräsentiert. Die weiteren Bestandteile sind nur als Information vorhanden und ihre Massen werden per Formel berechnet. Die Ansichten der Familien sind in Abbildung 25 dargestellt.

Fassadengebundene Begrünung – Trogsystem

Die Familie des Trogsystems wird aus einer Reihe von Profilkörpern konzipiert. Sowohl die Geometrie für den Trog als auch für das Substrat werden aus Profilen erstellt. Diese Profile werden entlang der Oberfläche angeordnet. Die Anzahl der Trog-Reihen lässt sich automatisch berechnen. Damit die Familie performant bleibt, werden die weiteren Bestandteile des Systems nur als Daten vorgesehen. Die Fläche der Vliesmaterialien und die Länge der Bewässerungsschläuche werden innerhalb der Familie berechnet. Die Ansichten der Familien sind in Abbildung 26 dargestellt.

LIVING-WALL_MODULAR_CASSETTES

Kassetensystem



LIVING-WALL_CONTINUOUS_TRAYS

Trogsystem

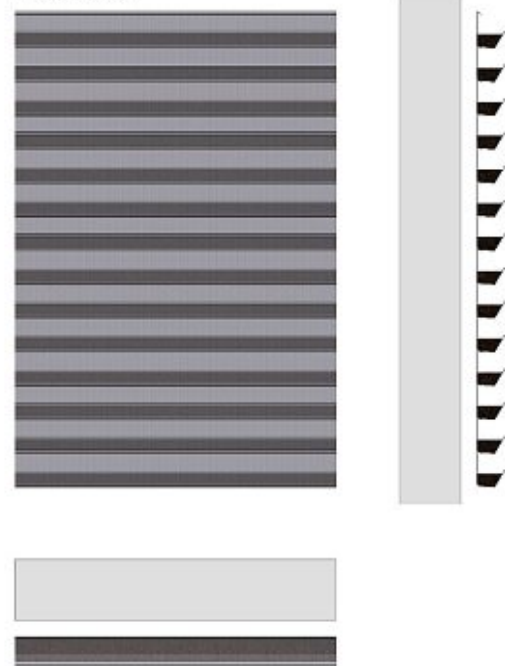


Abbildung 25 BIM-Objekt Kassetensystem:
Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung

Abbildung 26 BIM-Objekt Trogsystem:
Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung

Fassadengebundene Begrünung – Mischsystem: Trog und Kletterhilfen

Die Familie für das Mischsystem besteht aus einem Trog entlang der Basis. Es befindet sich an den beiden Enden des Troges je eine Stab-Konstruktion als Kletterhilfe und dazwischen die Bepflanzung. Für diese Geometrien werden mehrere Extrusionen und Abzugskörper verwendet. Zusätzliche Materialien, wie Bewässerungsschläuche und Vliesmaterialien, sind auch bei dieser Familie nur als Information verfügbar. Die Ansichten der Familien sind in Abbildung 27 dargestellt.

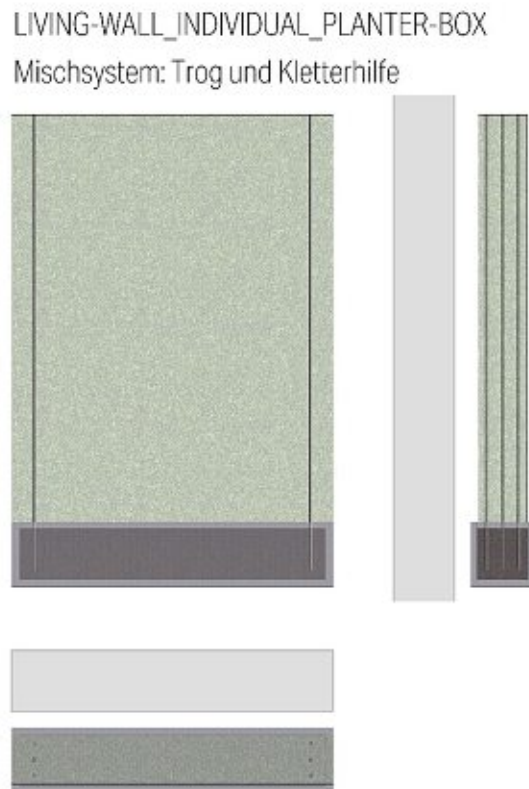


Abbildung 27 BIM-Objekt Mischsystem: Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung

Schritt 7 Verschachtelung der Familien

Für die Erstellung der BIM-Objekte für die Begrünungssysteme wird die Verschachtelung der Allgemeinen Modell-Familien in die Fassadenelementfamilie durchgeführt. Bei der Verschachtelung ist die Verknüpfung der verschachtelten Familie mit den Referenzebenen und Parametern in der Hauptfamilie zu beachten. Innerhalb der Hauptfamilie wird die verschachtelte Familie so verknüpft, dass die Abmessungen der Hauptfamilie mit den Abmessungen der verschachtelten Familie übereinander stimmen. Das Ergebnis der Verschachtelung und die Zusammensetzung der BIM-Objekte ist in Abbildung 21 dargestellt.

4.3. BIM-Projektvorlage für die Fassadenbegrünung

Projektvorlagen bieten eine Ausgangsumgebung und einheitliche Rahmenbedingungen für neue Projekte. In diesem Kapitel werden die Projektvorlage und die Berechnungstabellen beschrieben.

4.3.1. Inhalt der BIM-Projektvorlage

In diesem Unterkapitel werden die Bestandteile der BIM-Projektvorlage in REVIT für die Begrünungen beschrieben. Der Inhalt der Vorlage ist in Abbildung 28 dargestellt.

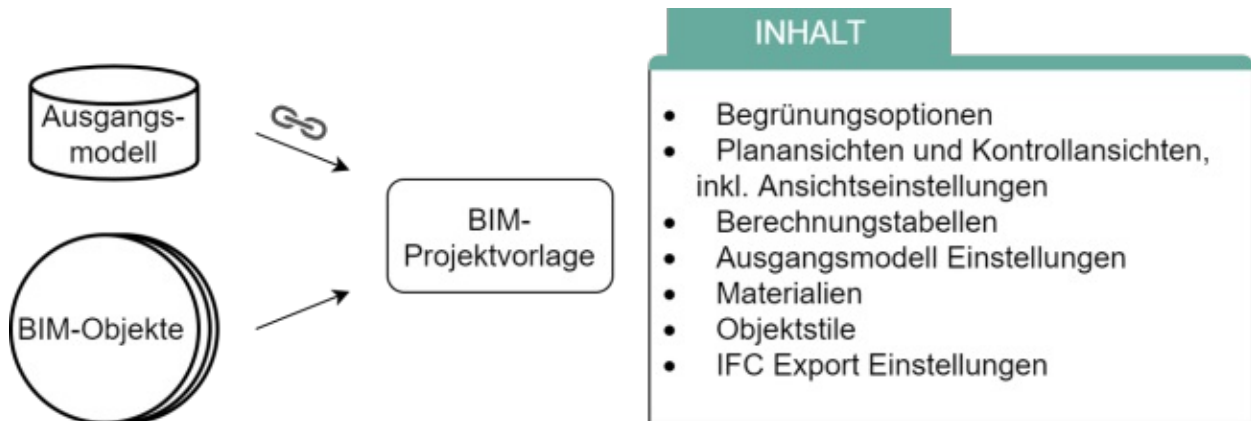


Abbildung 28 Inhalt der BIM-Vorlage in REVIT

Die folgenden Schritte werden bei der Erstellung der Projektvorlage für die Begrünungen berücksichtigt.

Schritt 1 Namensgebung

Eine klare einheitliche Namensgebung macht die Vorlage übersichtlicher und einfacher zu verwenden. Das System der Namensgebung im Kapitel 4.2.1 wird berücksichtigt und angewendet.

Schritt 2 BIM-Objekte

Als erstes werden die in Kapitel 4.2.4 erstellten ladbaren Familien in der Projektvorlage eingefügt. Damit sind die Familien für die Begrünungssysteme der Kategorien Fassadenelemente und die verschachtelten Familien der Kategorie Allgemeines Modell gemeint. Unter Verwendung der ladbaren Familien als Bestandteile werden folgende Systemfamilien definiert: die Fassadenwände und die Fassadensysteme. Die Zusammensetzung und die definierten Einstellungen werden in Kapitel 4.2.3 erläutert.

Schritt 3 Projektparameter

Für die verwendeten Systemfamilien werden Projektparameter hinzugefügt. Die Parameter werden benötigt, um diesen Kategorien Informationen zuzuordnen zu können, sowie für die Erstellung der Bauteillisten. Mit voranschreitender Projektphase und steigendem Informationsgehalt müssen die Parameter in den Systemfamilien mit den entsprechenden Informationen gefüllt werden, wie z. B. Parameter für die Ausschreibungs-, Bau- oder Nutzungsphase. Die Parameter werden in Kapitel 4.2.2 aufgezählt

Schritt 5 Entwurfsoptionen

In der Projektvorlage werden die Entwurfsoptionen wie in Abbildung 29 definiert, die verwendet werden sollen, um verschiedene Begrünungsvarianten darzustellen und zu berechnen. Wenn notwendig, können neue Optionen, inklusive Ansichten, ergänzt werden.

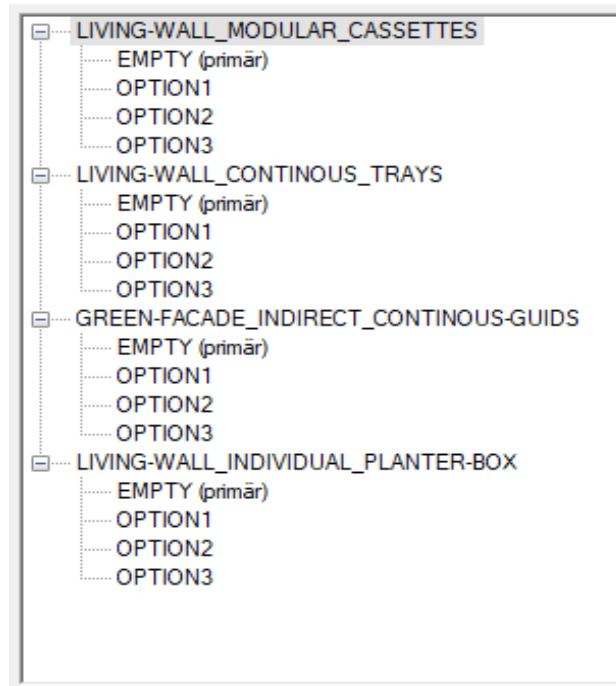


Abbildung 29 Auflistung Entwurfsoptionen in REVIT

Schritt 6 Ansichten für Pläne

Um diese Begrünungsvarianten in der Projektdatei anzuzeigen, werden für jede einzelne von ihnen Ansichten und Pläne vorbereitet, sodass diese nicht zu Beginn jedes Projekts erneut erstellt werden müssen. Dazu gehören: Grundrisse, 3D-Ansichten, Ansichten der Gebäudefronten und Bauteillisten. Die Bauteillisten werden in Kapitel 4.3.2 detailliert beschrieben. Weiterhin werden 3D-Kontrollansichten und Bauteillisten definiert, um die visuelle Überprüfung des Ausgangsmodells direkt durchzuführen.

Schritt 7 Filter für Kontrollansichten

Es werden Ansichtsfiler für häufige Anwendungsfälle in einem Projekt erstellt. Filter verwenden Parameter von Elementen, um eine Sichtbarkeitsüberschreibung anzuwenden. Erstens werden die Modellkategorien Allgemeines Modell, Dächer, Fenster, Geschossdecken, Türen, Wände für die Gebäudehülle, wie in Abbildung 30 eingeblendet. Um die zuvor beschriebenen Kontrollansichten zu erstellen, werden solche Filter wie in Abbildung 31 gesetzt und damit die innenliegenden Elemente ausgeblendet. Ein solcher Filter wird anhand von Regeln definiert, wie bspw. in Abbildung 32 gezeigt.

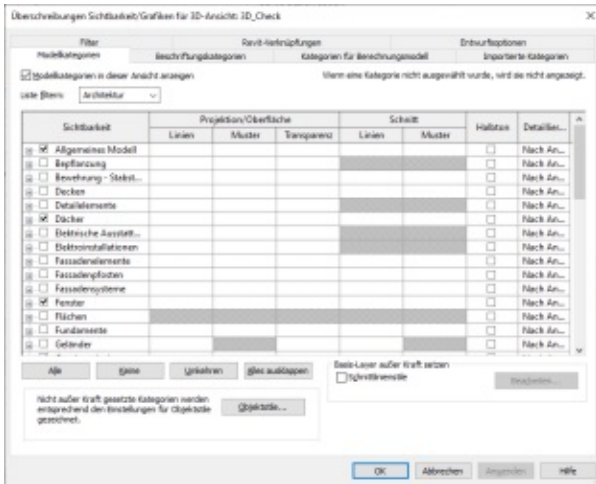


Abbildung 30 Sichtbarkeits-Einstellungen für die 3D-Kontrollansicht in REVIT

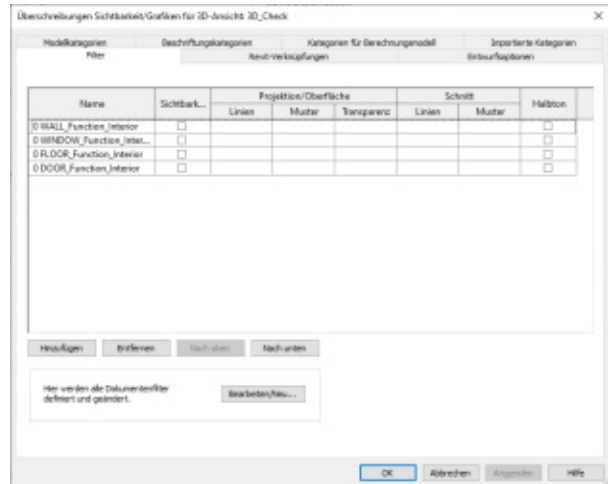


Abbildung 31 Filter-Einstellungen für die 3D-Kontrollansicht in REVIT

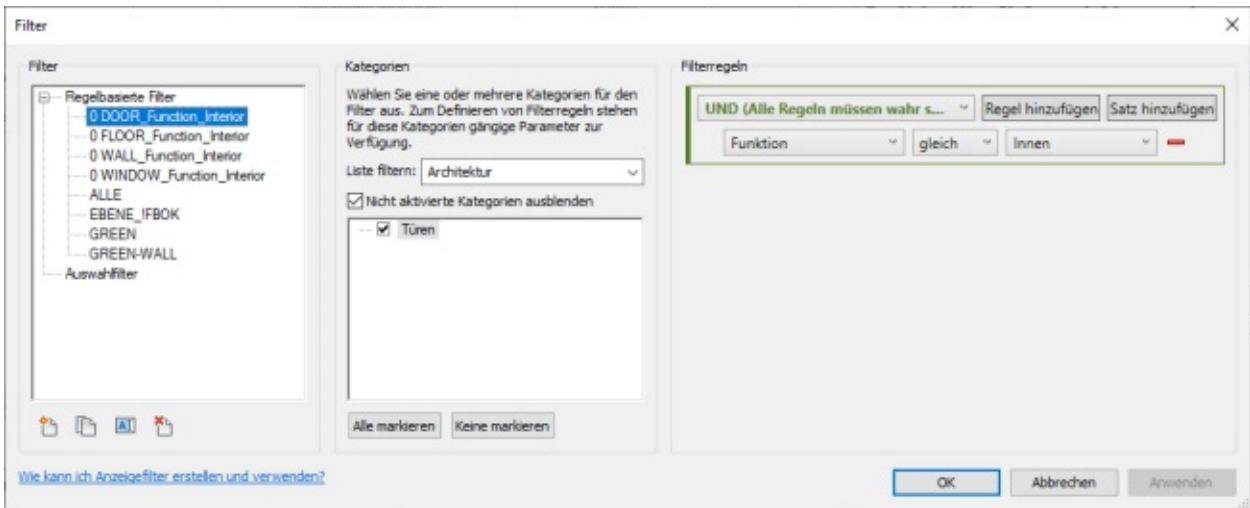


Abbildung 32 Filterregel für innenliegende Türen in REVIT

Schritt 8 Platzhalter-Link für Ausgangsmodell

Die Planung der Begrünung erfordert eine enge Zusammenarbeit mit dem Architektorentwurf, so dass die Modelle miteinander verknüpft werden müssen. Deshalb wird der Projektvorlage eine Platzhalter-Verknüpfung, auch Link genannt, hinzugefügt. In der Projektvorlage werden die Sichtbarkeitseinstellungen für den Link eingestellt. Wenn diese Projektvorlage für ein Projekt verwendet wird, kann der Platzhalter-Link auf das neue Ausgangsmodell verweisen und die Sichtbarkeits-einstellungen in der Projektvorlage werden auf dieses verknüpfte Modell angewendet. Dies kann bei der Arbeit mit verknüpften Modellen Zeit sparen.

Schritt 9 Ansichtsvorlagen

Nachdem alle diese Schritte in der Projektvorlage berücksichtigt worden sind, können Ansichtsvorlagen definiert werden. Ansichtsvorlagen sind eine schnelle Möglichkeit, den Ansichten Sichtbarkeitseinstellungen zuzuweisen. Die Erstellung von Ansichtsvorlagen in der Projektvorlage stellt die Konsistenz der Ansichten von Projekt zu Projekt sicher.

Schritt 10 Materialien und Füllmuster

In der Projektvorlage wird eine Bibliothek mit üblichen Materialien für die Begrünung erstellt. Bei der Erstellung dieser Materialien wird nicht nur das Aussehen, sondern auch die Verwendung in einer Materialauflistung berücksichtigt.

Bei entsprechender Zuordnung der Materialien können z.B. die Materialmengen von Substratvolumen, Begrünungsfläche etc. berechnet werden. Füllmuster für Oberflächen- und Schnittmuster werden ebenfalls in der Vorlage definiert.

Schritt 11 Objektstile

Bei den Objektstilen werden die Materialien den verwendeten Unterkategorien zugeordnet. Zusätzlich werden die Linienstärken für Oberflächen und Schnitt, die Linienfarbe und Linienmuster für die verwendeten Unterkategorie in der Projektvorlage festgelegt, damit die Darstellung der Ausgabepläne den Anforderungen in der Norm entsprechen.

Schritt 12 Inhalte der Projektvorlage in Projektdatei übertragen

Um Bestandteile und Einstellungen aus der REVIT-Projektvorlagedatei für die Begrünung in eine andere REVIT-Projektdatei zu übertragen, sind die folgenden Befehle anzuwenden: Standards übertragen und Ansichten aus Datei einfügen.

4.3.2. Berechnungstabellen

Eine Bauteilliste in REVIT ist eine tabellenartige Auflistung von Elementen. Sie dient zum Befüllen und Überprüfen von eingearbeiteten Parameterwerten. Zusätzlich können Bauteillisten zur Ermittlung von Materialmengen und zum Analysieren des BIM-Modells verwendet werden. Basierend auf dem in [1] beschriebenen Ablauf wird das Beispiel einer Liste von Begrünungssystemen erstellt.

Schritt 1 Kategorie und Benennung der Bauteilliste

Der erste Schritt war die Auswahl und Benennung einer Bauteilliste der Kategorie Allgemeines Modell und die Auswahl der aktuellen Phase.

Schritt 2 Hinzufügen von Parametern

Im nächsten Schritt werden die Parameter in Abbildung 33 im Reiter Felder hinzugefügt:

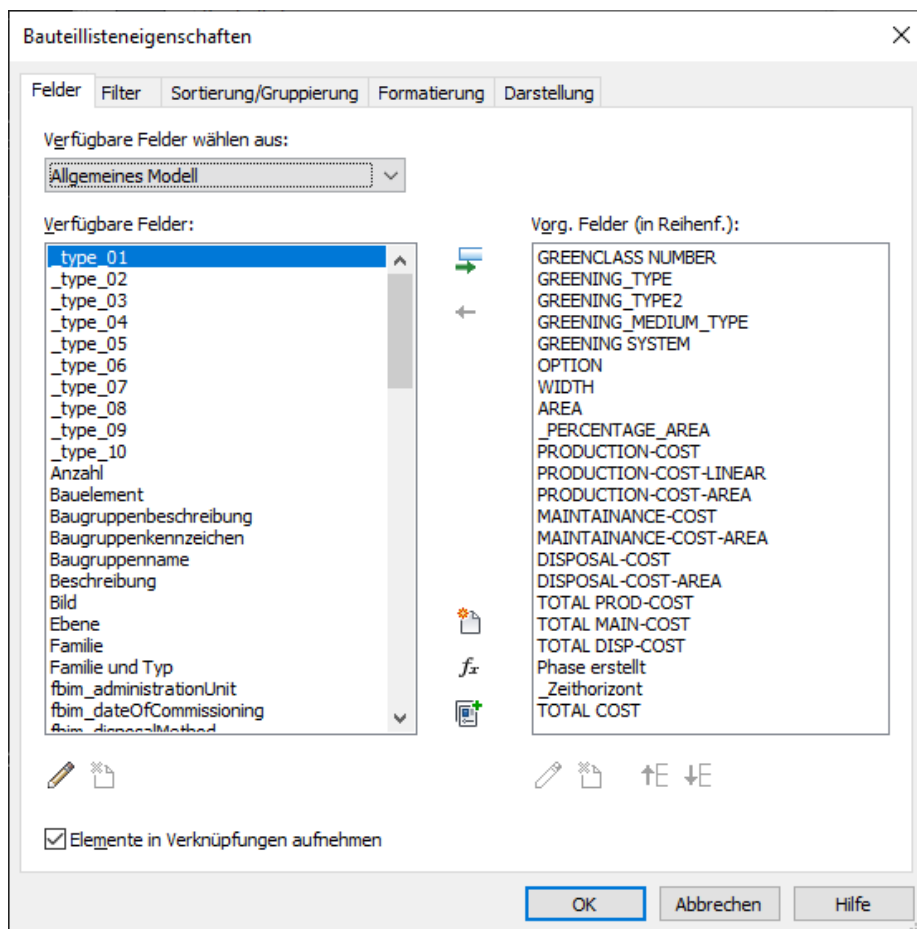


Abbildung 33 Einfügen von Parametern in eine Bauteilliste in REVIT

Schritt 3 Kombinierte Parameter

Der Parameter GREENING SYSTEM wird als kombinierter Parameter definiert und setzt sich wie in Abbildung 34 zusammen.

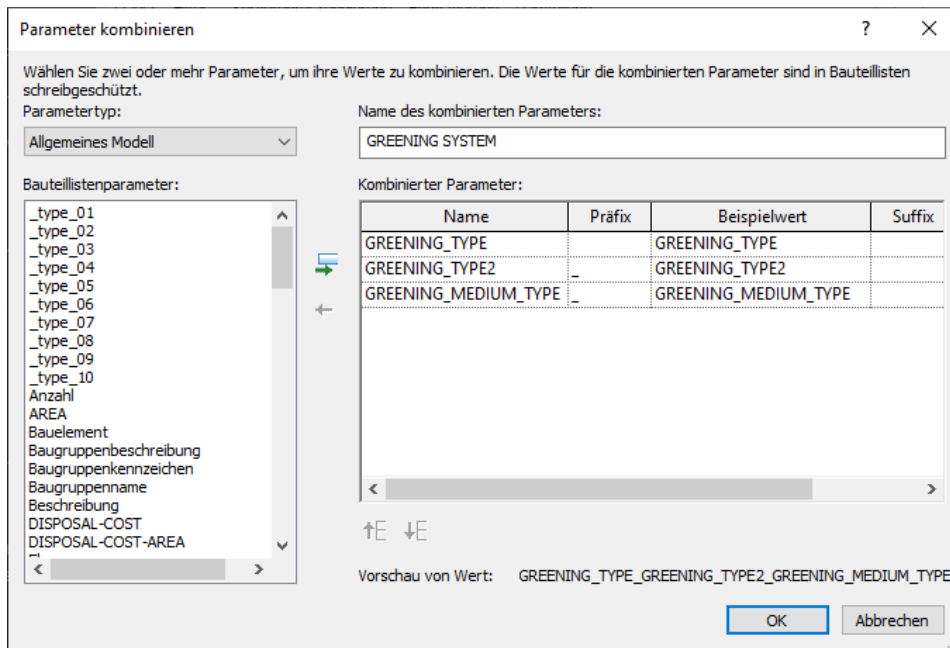


Abbildung 34 Kombinierte Parameter in Bauteillisten in REVIT

Schritt 5 Berechnete Parameter

Die Parameter für die Gesamtkosten werden als berechnete Parameter erstellt. Diese Parameter werden je mit einer Formel, wie in Abbildung 35, hinterlegt.

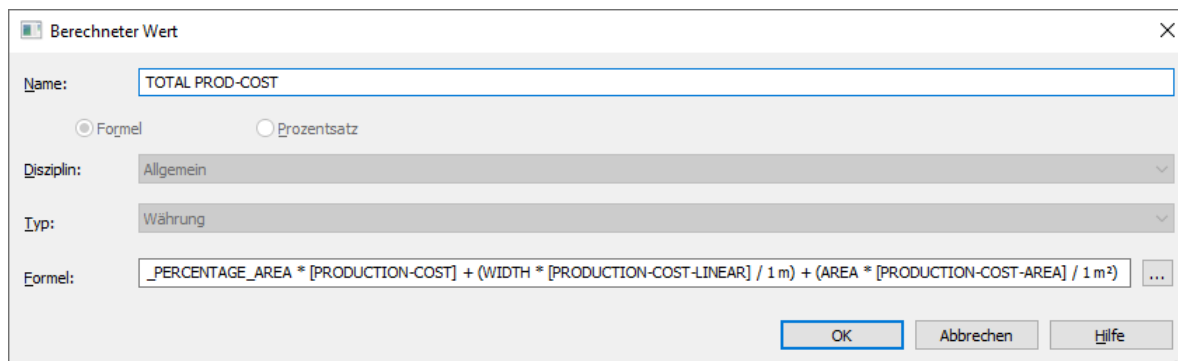


Abbildung 35 Berechnete Parameter in Bauteillisten in REVIT

Schritt 6 Filter

Im Reiter Filter wird die Bedingung gesetzt, dass lediglich diejenigen Elemente sichtbar gemacht werden, bei denen der Parameter GREENCLAS NUMBER vorhanden und ausgefüllt ist. Dieser Vorgang ist in Abbildung 36 dargestellt.

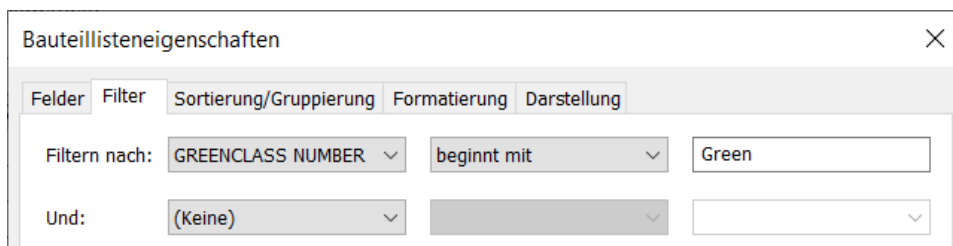


Abbildung 36 Filter der Bauteillisten in REVIT

Schritt 7 Sortierung/Gruppierung

In dem Reiter Sortierung/Gruppierung (Abbildung 37) werden die Elemente aufsteigend nach dem gleichen Parameter sortiert. Durch das Deaktivieren des Kästchens „Jedes Exemplar nicht aufgliedern“ gruppiert sich die Liste so, dass pro Begrünungssystem eine Zeile ausgefüllt wird.

Weiterhin wird für die Parameter der Gesamtflächen und Gesamtkosten im Reiter Formatierung eingestellt, dass die Gesamtwerte berechnet werden.

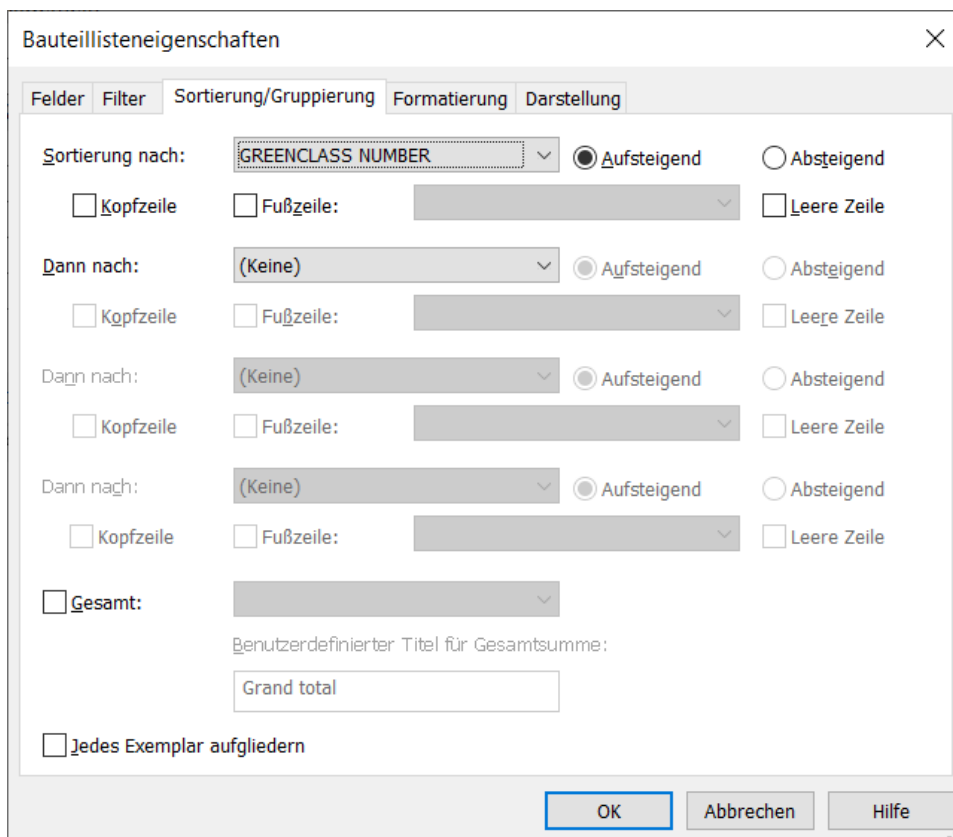


Abbildung 37 Sortierung/Gruppierung der Bauteillisten in REVIT

Schritt 8 Entwurfsoption

Im letzten Schritt wird die zugehörige Entwurfsoption für jede Begrünungsvariante festgelegt. Dafür wird das Befehl „Zum Satz hinzufügen“ verwendet. (Abbildung 38)

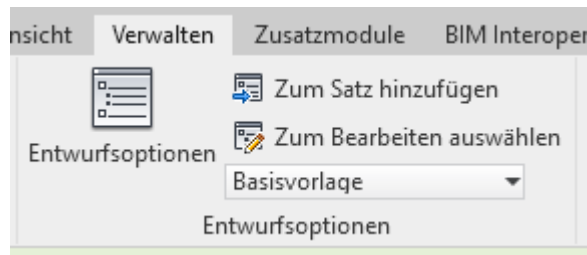


Abbildung 38 Befehl „Entwurfsoptionen“ in REVIT

4.4. Modellierung der Begrünungen und Nachbearbeitung

Zum Modellieren der Fassadenbegrünung in REVIT werden die Befehle Fassadenwand und Fassadensystem verwendet. Die Ausgabedaten werden dann für die weitere Verwendung vorbereitet.

4.4.1. Modellierung einer Fassadenwand

Die erste Möglichkeit eine Fassadenwand in REVIT zu modellieren ist mit dem Wand-Werkzeug. Die Typen der Fassaden sind auszuwählen, um die gewünschten Begrünungssysteme zu modellieren. Die Fassadenwandtypen können im Nachhinein ausgetauscht werden, um verschiedene Begrünungssysteme zu betrachten. Durch die Eingabe der unteren und oberen Abhängigkeit können die Geschossbereiche der Fassadenwände bestimmt werden. Die Zuordnung der Entwurfsoption kann entweder im Voraus oder nachträglich festgelegt werden.

4.4.2. Modellierung eines Fassadensystems

Ein zweites Werkzeug zur Erstellung von Fassadenbegrünungssystemen in REVIT ist das Fassadensystem. Zur Platzierung eines Fassadensystems wird ein Projektkörper benötigt. Einerseits kann jede Freiform direkt in REVIT als Projektkörper modelliert werden und andererseits kann die Geometrie durch eine externe 3DM- oder SAT-Datei, die in das Projekt geladen wird, definiert werden. Sobald ein Projektkörper vorhanden ist, können mit dem Werkzeug Fassadensystem nach Fläche die gewünschten Fassadenbegrünungssysteme erstellt werden. Nachdem die gewünschten Flächen des Projektkörpers für die Begrünung ausgewählt wurden, kann das Fassadensystem durch Klicken auf „System erstellen“ vervollständigt werden. Die Typen der erstellten Fassadenbegrünungen können auch in diesem Fall ausgetauscht werden und auf die zugehörige Entwurfsoption zugeordnet werden. Ändert sich nachträglich das Projektkörper, können die Fassadenflächen mit einem Mausklick aktualisiert werden. Dadurch ist die Fassadengestaltung sehr flexibel.

4.4.3. Planstände

Durch die Anwendung der in dieser Diplomarbeit erstellten BIM-Objekte und Projektvorlage werden Plangrundlagen, wie 3D-Ansichten, Grundrisse, Schnitte und Ansichten der Fassadenbegrünungssystemen, generiert. Diese können für die weitere Verwendung in verschiedene Formate, wie z.B. PDF oder IFC, exportiert

werden. In Kapitel 6.2 werden anhand eines Beispiels solche Planansichten dargestellt.

4.4.4. Bauteillisten für die Datenvisualisierung

Da die REVIT-Projektvorlage für Fassadenbegrünungen vordefinierte Ansichten und Bauteillisten enthält, werden diese während der Planung automatisch mit den Informationen der Begrünungen ausgefüllt. Sobald die Platzierung der Begrünungselemente für jede gewünschte Entwurfsvariante abgeschlossen ist, können auch alle vorbereiteten Bauteillisten exportiert werden. Für diese Diplomarbeit wurde eine MS PowerBI Vorlagedatei erstellt, um die Daten aus dem BIM Modell in Form von Diagramme zu visualisieren. Erstens wurden die Eingabedaten so formatiert, dass die Struktur und Einheiten übereinstimmen und zweitens wurden die Stile der Grafiken festgelegt. In der Power BI Vorlagedatei ist nur noch die Eingabe des Dateipfades der exportierten Bauteillisten einzugeben. Alle nötigen Grafiken generieren sich daraus und können dann entweder als PDF exportiert oder veröffentlicht und online besichtigt werden. Die exemplarisch dargestellten Ergebnisse für die Berechnungen am Beispielobjekt sind in Kapitel 6.3 zu finden.

4.4.5. Vorbereitung der Geometrie für Virtual Reality

Der Export der Geometrie für das Virtual Reality muss für jede Entwurfsvariante separat durchgeführt werden. Dafür wurde das Twinmotion Add-In für REVIT verwendet. Für diese Arbeit wurde eine Twinmotion-Datei, auch als Szene bezeichnet, vordefiniert. Zu Beginn wurde das Ausgangsmodell ohne Begrünung als fbx-Datei exportiert und in der Szene eingefügt. Weiterhin wurden der Reihe nach die Begrünungsvarianten in Twinmotion eingefügt. Für jede Option wurde dann die Vegetation ausgewählt und diese auf der importierten Geometrie angebracht. Die vorhandene Projektstruktur ermöglicht es, die verschiedenen Datensätze ein- und auszublenden. Die fertiggestellten Varianten können dann in Virtual Reality betrachtet werden. Die in dieser Arbeit erstellten fotorealistischen Bilder sind in Kapitel 6.4 zu sehen.

4.5. freeBIM-Add-In für die Ausschreibungsphase

Um die automatisierte Erstellung der Ausschreibungen mit Hilfe des freeBIM-Add-Ins durchzuführen, sind zusätzliche Parameter notwendig. Diese werden `_type_01`, `_type_02`, ..., `_type_20` genannt und können entweder händisch oder mittels des Add-Ins ausgefüllt werden. Die Parameterliste ist auf der Website von freeBIM zu finden [13]. Pro Parameter wird auf einer festgelegten Struktur je eine Leistungsbeschreibungseingabe eingetragen. Am Beispiel eines Aluminium-Trogsystems wird im Folgenden die Systematik des Add-Ins erläutert. Der Kurztext, die Leistungspositionsnummer und dessen Einheit sind den Ausschreibungsunterlagen entnommen, wie in Tabelle 13 aufgelistet.

BIM-Planungswerkzeuge für die Fassadenbegrünung

Tabelle 13 Auszug Ausschreibung Aluminium-Trogssystem

Kurztext	Position	Einheit
Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogrpr. Alu	687210AZ	lfm
Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogrpr. Alu Farb. Besch.	687210BZ	lfm
Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogrprofile Edelstahl	687210CZ	lfm
Teilfl. Veg.tr. Vegetationstechnik	687211AZ	lfm
Teilfl. Veg.tr. Bepflanzung m.Flachb.5x5 6/lfm	687212AZ	Stück
Teilfl. Veg.tr. Bepflanzung m.Topfb.9x9 6/lfm	687212BZ	Stück
Teilfl. Veg.tr. Depotdüngung	687213AZ	lfm
Anwuchspflege	687410AZ	PA

Diese Werte werden mit Hilfe des freeBIM-Add-Ins den Fassadenwänden zugeordnet, wie in Abbildung 39 dargestellt. An der untersten Stelle in dem Dialogfenster sind die aus dem Modell abgelesenen Massen zu sehen. In der Spalte Auswertung rechnet dann die Gesamtwerte zusammen. Die Alternativpositionen sind mit 0 auszufüllen oder leer zu belassen.

The screenshot shows the 'freeBIM.at Bauteilserver - diplom_rev2019.rvt' window. The 'Auswertung' (Evaluation) tab is active, displaying a table with the following data:

Parameter	Name	Datenbank	Guid	Einheit	Formel	Auswertung
_type_01	Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogrpr. Alu	LBHB20	687210AZ	lfm		0.00
_type_02	Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogrpr. Alu Farb. Besch.	LBHB20	687210BZ	lfm		0.00
_type_03	Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogrprofile Edelstahl	LBHB20	687210CZ	lfm	l*h/0,21	28.57
_type_04	Teilfl. Veg.tr. Vegetationstechnik	LBHB20	687211AZ	lfm	l*h/0,21	28.57
_type_05	Teilfl. Veg.tr. Bepflanzung m.Flachb.5x5 6/lfm	LBHB20	687212AZ	Stück		0.00
_type_06	Teilfl. Veg.tr. Bepflanzung m.Topfb.9x9 6/lfm	LBHB20	687212BZ	Stück	l*h/0,21*6	171.43
_type_07	Teilfl. Veg.tr. Depotdüngung	LBHB20	687213AZ	lfm	l*h/0,21	28.57
_type_08	Anwuchspflege	LBHB20	687410AZ	PA	1	1.00
_type_09						0.00

At the bottom of the window, summary statistics are displayed: a(Fläche) = 6.000 m², h(Nicht verknüpfte Höhe) = 3.000 m, l(Länge) = 2.000 m, v(Volumen) = 0.000 m³.

Abbildung 39 freeBIM Add-In Oberfläche

Das freeBIM-Add-In nutzt diese Informationen, um die „_type“-Parameter auszufüllen, wie in Abbildung 40 dargestellt.

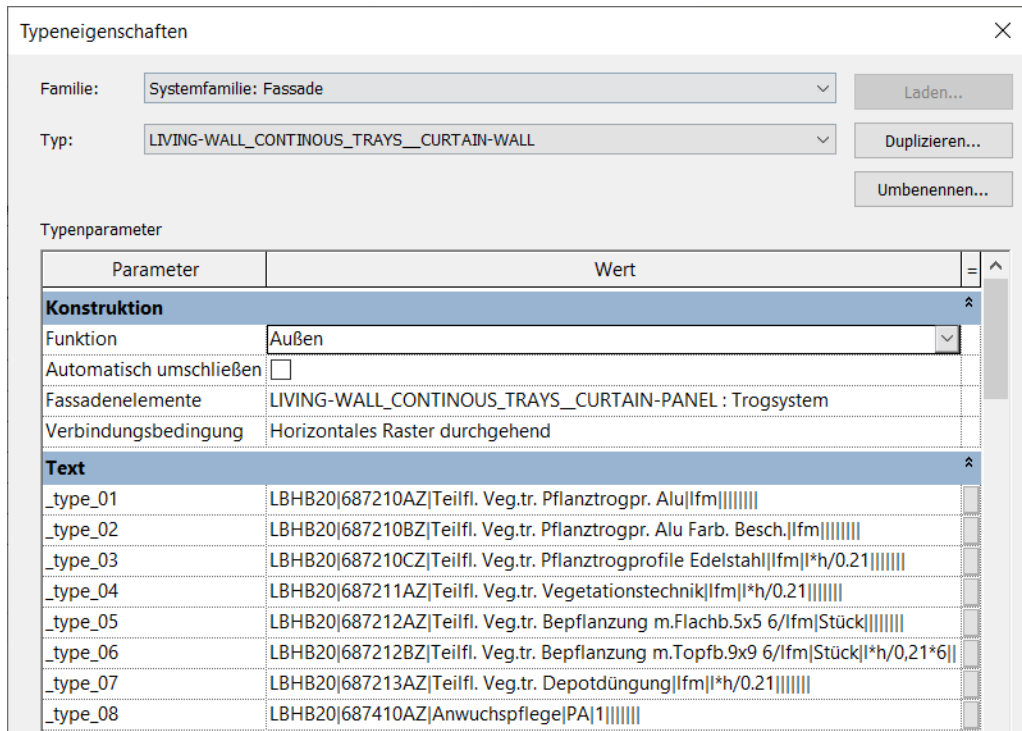


Abbildung 40 Mit freeBIM-Add-In ausgefüllte Typparameter der Fassade

Derzeit können bis zu 20 Positionen einem Element zugeordnet werden. Diese Parameter werden bei der Erstellung der BIM-Objekte eingearbeitet. Anhand von diesem Parameter können dann die Langtexte und Kosten aus dem freeBIM-Bauteilserverser zugeordnet und aktualisiert werden. In Kapitel 6.6 wird die Funktionsweise des freeBIM-Add-Ins auf Grund des Anwendungsbeispiels demonstriert und die resultierenden Ergebnisse vorgezeigt.

5. Simulation der Fassadenbegrünung

Wie in Kapitel 3.3 erläutert, wird ein Skript entwickelt, um die Platzierung der Fassadenbegrünung an der Fassade zu simulieren. Dieses Skript wird in Grasshopper für RHINO mit Hilfe der visuellen Programmierung aufgebaut. Die Eingabedaten und Bedingungen für die Ausführung der Simulation und die Anwendung des Simulationsskriptes werden im Folgenden beschrieben.

5.1. Anforderungen Ausgangsmodell

Das Ausgangsmodell für die Simulation liegt als IFC-Datei vor. Damit der automatisierte Simulationsprozess bestmögliche Ergebnisse erreichen kann, muss das IFC-Modell folgende generelle Anforderungen erfüllen:

- Allgemeine Angaben [25]
 - Projektbeschreibung
 - Gebäudetyp
 - Lage: Standort und Koordinaten
- die Bauteile, die die Gebäudehülle des Gebäudes bilden und
- die für die Simulation notwendige Parameter dieser Bauteile

Die entsprechenden Anforderungen werden im Weiteren erläutert.

Die Lage des Modells ist einzustellen, damit die Sonneneinstrahlung für die Fassadenbegrünungssysteme berechnet werden kann. Außerdem sind die unmittelbar angrenzenden Gebäude als Freiformen im Modell zu modellieren, sodass das Skript unzulässige Fassadenflächen, wie zum Beispiel benachbarte Flächen zwischen den Gebäuden erkennen und herausfiltern kann. Für die Erstellung des Simulationsskriptes sind die in Abbildung 41 dargestellten Klassen im IFC-Modell erforderlich.

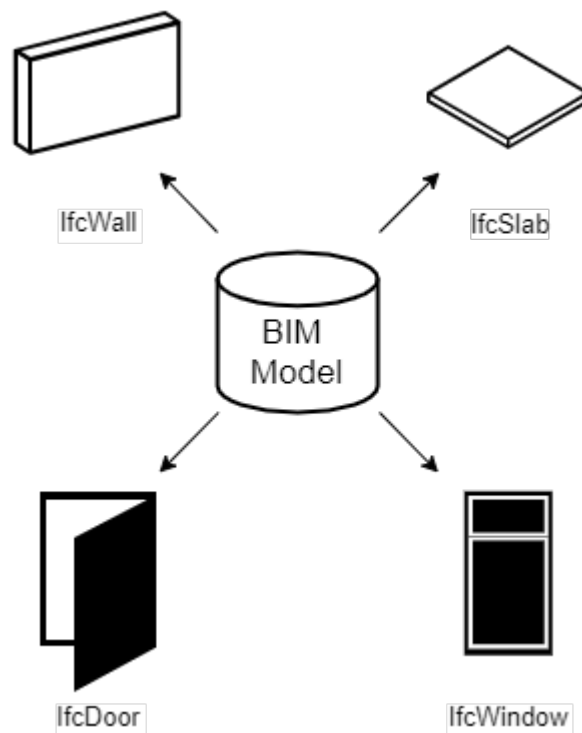


Abbildung 41 BIM Modell Bestandteile

Die Klassen der Wände, Geschossdecken und Öffnungen müssen grundlegende Informationen enthalten: die Geometrie, die Funktion der Wand (innen- oder außenliegend), die Tragfähigkeit, die Materialien, die Brandschutzanforderungen usw. Wände müssen zusätzlich die Information enthalten, ob eine Begrünung an der Wand zulässig ist. Die außenliegenden Rohdecken, im Falle von Balkonen oder anderen ähnlichen auskragende Konstruktionen, müssen definiert werden, damit das Skript sie entsprechend berechnen kann. Die Eigenschaften von Fenstern und Türen müssen genau definiert werden und zusätzlich die Information enthalten, ob eine Begrünung im Bereich der Öffnung zulässig ist. Abbildung 42 zeigt die im Ausgangsmodell erforderlichen Eigenschaften der oben genannten Kategorien.

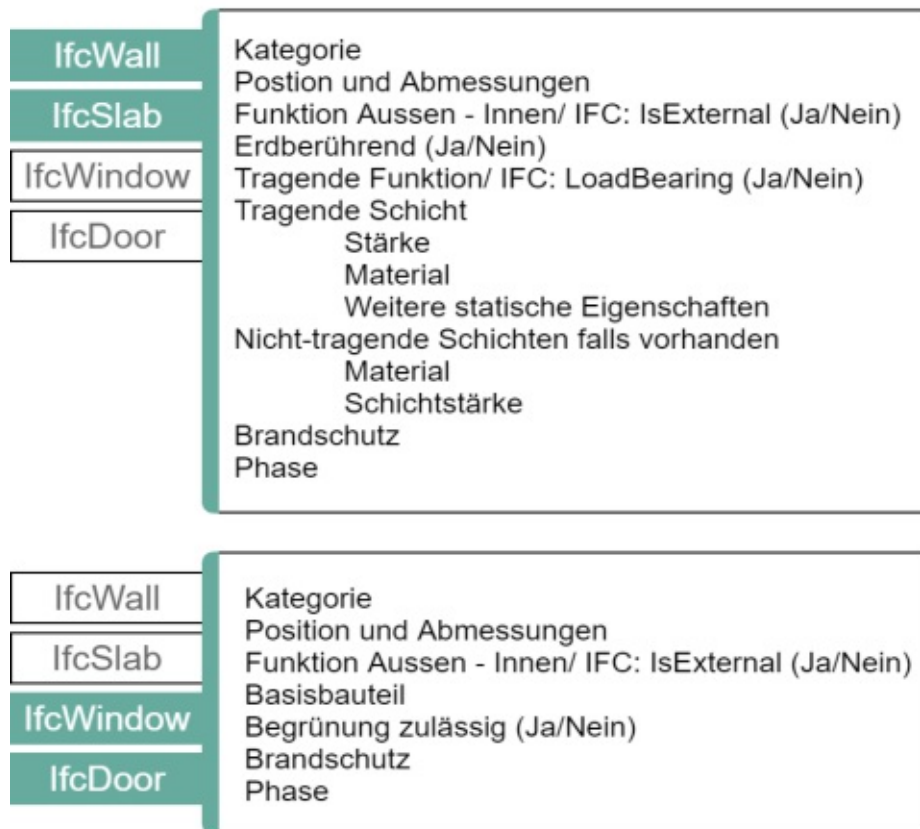


Abbildung 42 Erforderliche Parameter für die Elemente im Ausgangsmodell

5.2. Überprüfung BIM-Modell

Um mit dem Simulationsprozess zu beginnen, muss die Struktur der Eingabedaten im Ausgangsmodell untersucht werden. Dazu müssen die im obigen Kapitel beschriebenen Anforderungen geprüft werden.

Überprüfung in REVIT

Wie bereits in Kapitel 4.3 erklärt, sind Kontrollansichten in der Begrünungsvorlage enthalten. Damit kann die Gebäudehülle des Ausgangsmodelles, wie in Abbildung 43 dargestellt, abgebildet und untersucht werden.

Überprüfung in IFC-Viewer

Selbst wenn die Projektbeteiligten nicht über die Autodesk REVIT-Software verfügen, kann ein frei verfügbarer IFC-Viewer verwendet werden, um das IFC-Ausgangsmodell zu betrachten.

Überprüfung in SOLIBRI MODEL CHECKER

Mit Hilfe der kostenpflichtigen Software SOLIBRI MODEL CHECKER können die Anforderungen effizient geprüft werden. Die Überprüfung funktioniert anhand von definierten Regeln, welche z.B. nur die außenliegenden Bauteile in dem Ausgangsmodell isolieren, wie in Abbildung 44 dargestellt.

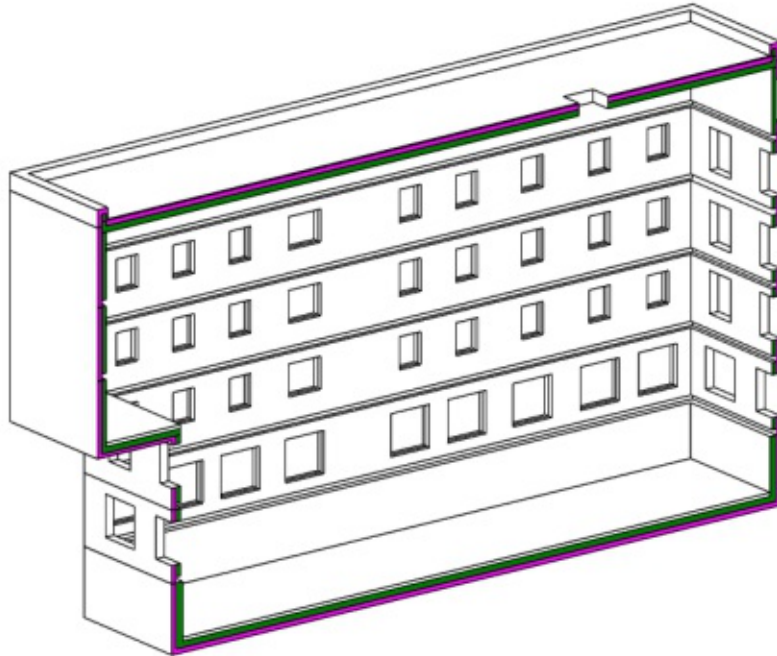


Abbildung 43 3D Kontroll-Ansicht in REVIT

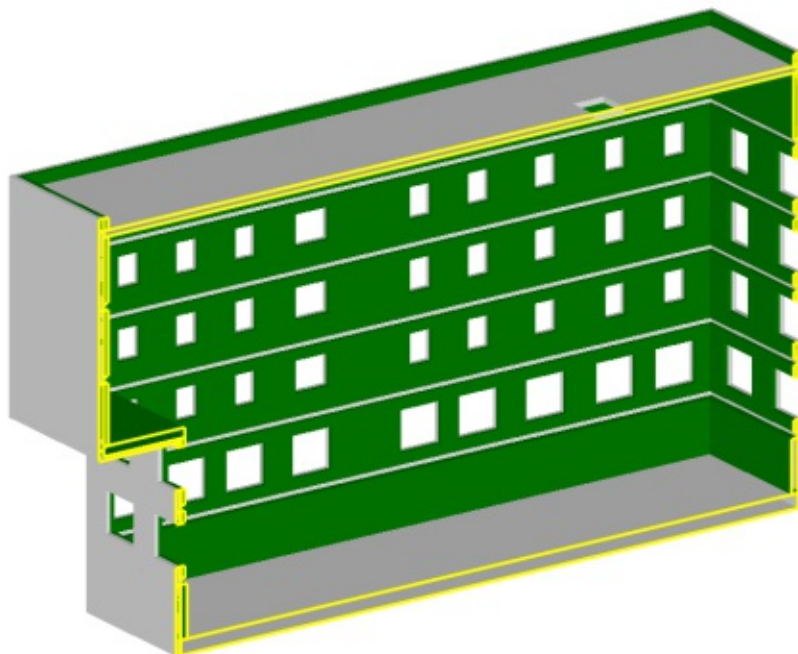


Abbildung 44 3D-Ansicht in SOLIBRI MODEL CHECKER

5.3. Entwicklung Simulations-Skript

Für die automatisierte Simulation der Gebäudebegrünungen wird in dieser Arbeit ein Simulationsskript erstellt. Das Skript ist eine vorprogrammierte Anwendung, die auf Basis eines Ausgangsmodells und flexibel einstellbaren Regeln für die Begrünung eine große Anzahl von Begrünungsvarianten auf Knopfdruck erzeugt. In Abbildung 45 ist der Ablauf der Simulation konzeptioniert.

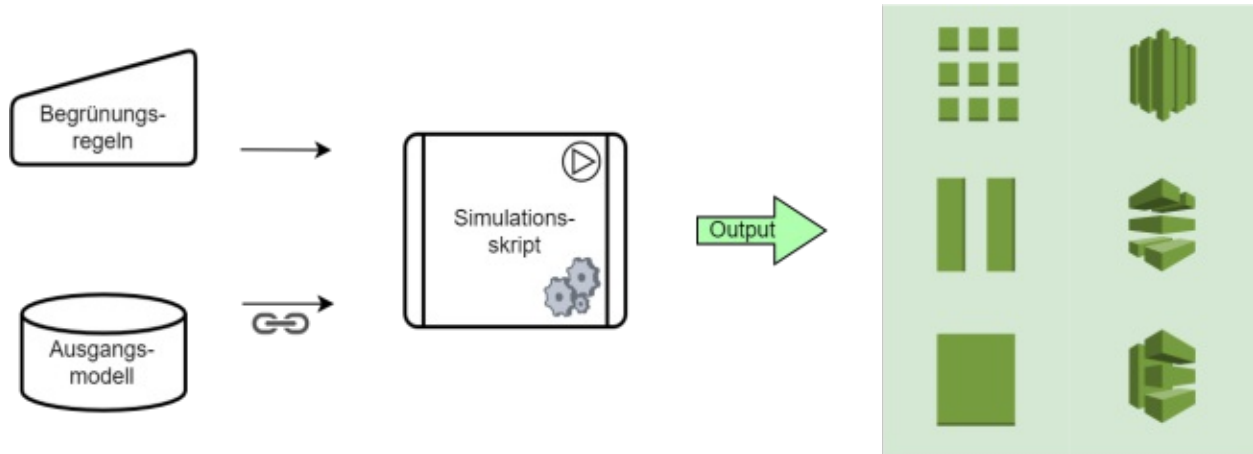


Abbildung 45 Überblick Ablauf Simulations-Skript

5.3.1. Aufbau Simulationsskript

Um einen besseren Überblick zu erhalten und die Flexibilität des Skriptes zu gewährleisten, wird das Skript in Gruppen von Strukturen gegliedert. Abbildung 46 stellt die Schritte der Simulation dar. Zu Beginn werden die Eingabeinformationen aus einer externen Datenbank gesammelt und das Ausgangsmodell eingelesen. Dann wählt das Skript aus dem Ausgangsmodell nur die für die Begrünung verwendeten Bauteile aus, wie z. B. die tragenden Außenwände in dem festgelegten Geschossbereich. Anschließend werden diese Bauteile verarbeitet, um die begrünbare Außenfläche der Fassade zu extrahieren. Die Außenflächen werden aufgeteilt und wieder zusammengeführt, um die Begrünungsfläche effizient zu gestalten. In Abbildung 48 werden die Zwischenergebnisse der Schritte anhand eines Beispiels präsentiert.

Simulation der Fassadenbegrünung

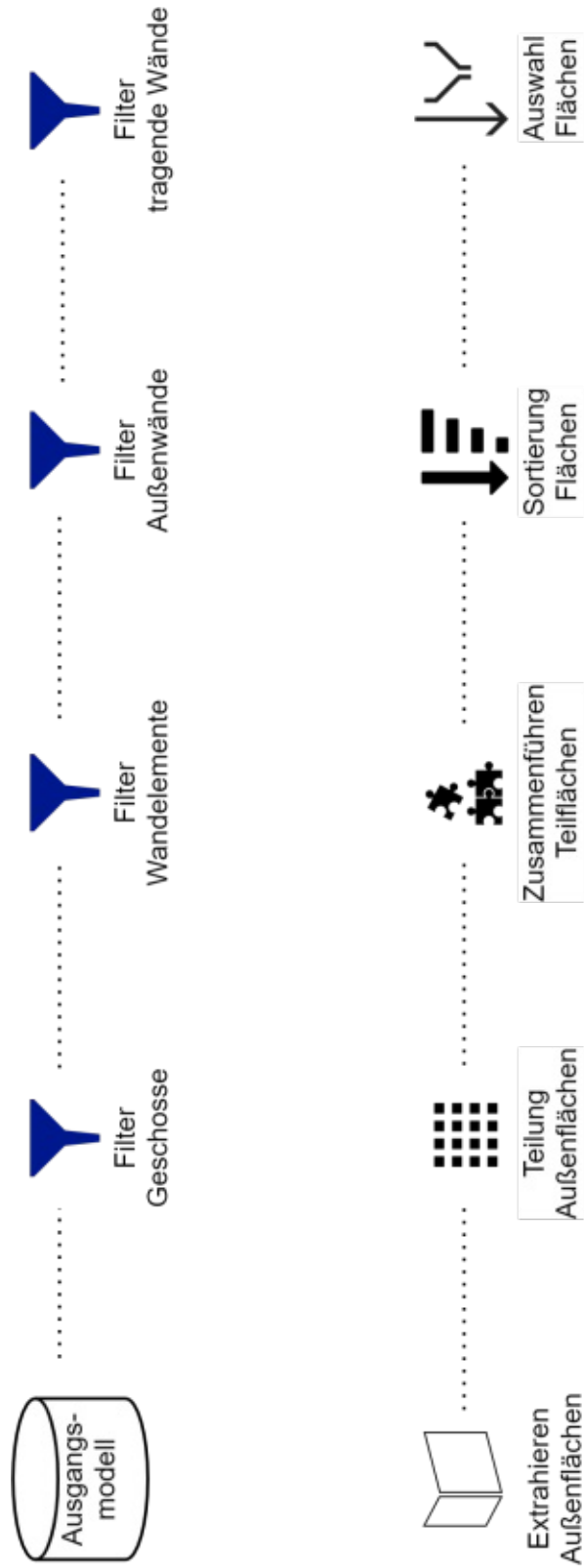


Abbildung 46 Schritte Simulationsalgorithmus

Simulation der Fassadenbegrünung

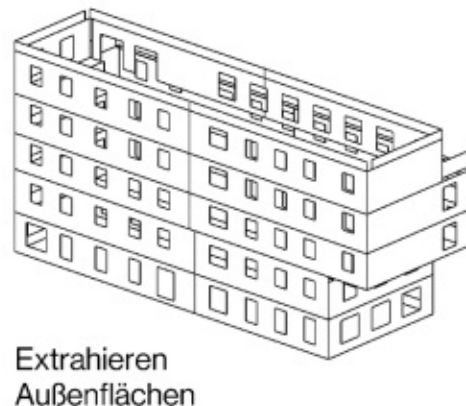
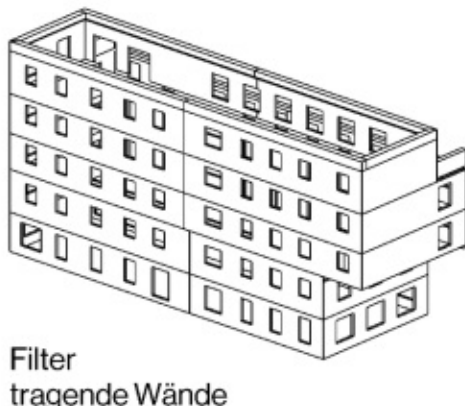
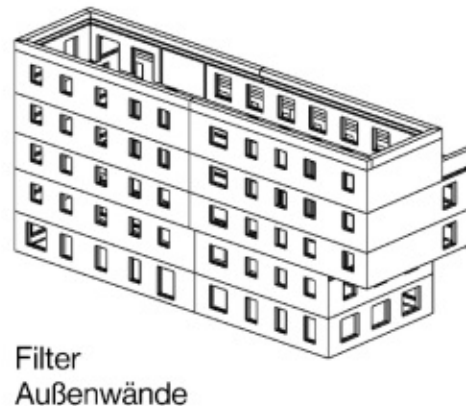
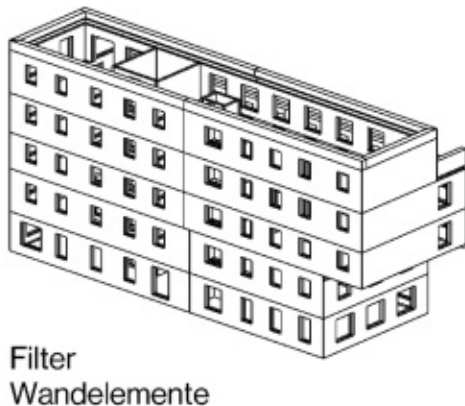
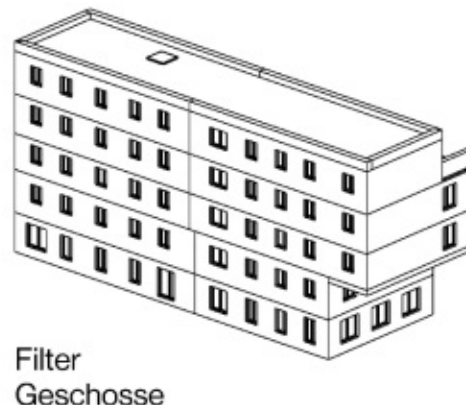
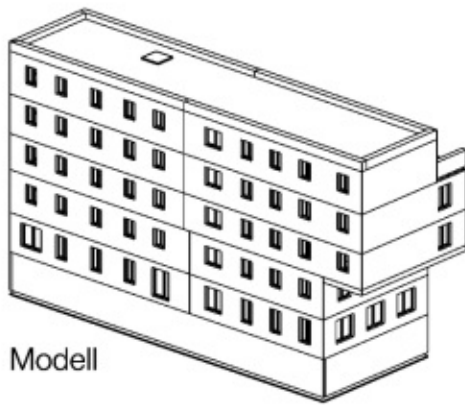


Abbildung 47 Zwischenergebnisse Simulationsskript

Simulation der Fassadenbegrünung

Als nächstes wendet das Skript die Begrünungskombinationen an. Wie in Abbildung 48 dargestellt, bildet sich eine Kombination aus drei Auswahlmöglichkeiten. Erstens sind die Begrünungssysteme, die simuliert werden sollten, auszuwählen. Zweitens ist die gewünschte Fassadengestaltung auszusuchen und drittens ist die Begrünungsfläche zu wählen. Die verfügbaren Optionen für das Ziel der begrünten Fläche sind 10%, 20% und 50% der gesamten für die Begrünung zur verfügbaren Fassadenfläche. Das Skript führt die Berechnungen für die ausgewählten Kombination durch und für jede dieser Kombinationen wird die Geometrie und die berechneten Daten für den Export gesammelt. Damit können die Kombinationen in einem weiteren Schritt verglichen und visualisiert werden.



Abbildung 48 Auswahl Begrünungskombinationen

Laut einem Beschluss der Stadt Wien [29] ist die Begrünung von Gebäude ab einer Höhe von 7,5 Meter zukünftig notwendig. Der Anwendungsfall der Begrünungsfläche von 20 % der Gebäudefassade eignet sich daher für die kommenden Änderungen in der Bauordnung.

5.3.2. Erstellung des Simulationsskript in Grasshopper

Im folgenden Abschnitt wird die Funktionsweise des Skriptes schrittweise erklärt und die dazugehörigen Strukturen abgebildet. Die Zwischenergebnisse sind in Abbildung 47 dargestellt.

Schritt 1 Einlesen von externen Eingabedaten

Zum Start benötigt das Skript folgende Eingabeinformationen:

- Eingabe der Begrünungskombinationen (Abbildung 48):
 - angewendete Fassadenbegrünungssysteme,
 - Gestaltungsmöglichkeiten der Begrünung und
 - die Prozentsätze für die Flächenbedeckung
- Eingabe der Kosten-Richtwerte aus einer Datenbank (Kapitel 4.2.2 Tabelle 9)
- Weitere Eingabeparameter:
 - Mindestabmessungen für die Begrünungspaneele
 - Richtungsvektor der besten Exposition für die Bepflanzung (Schritt 13)
 - Verteilungsgrad der begrüneten Fläche (Schritt 13)
 - Bevorzugte Aspekte: Zugänglichkeit oder Exposition für die Bepflanzung (Schritt 14 - Schritt 15)

Das Lesen aus einer MS Excel-Datei ist eine grundlegende Funktion für Grasshopper.

Schritt 2 Verknüpfen des Ausgangsmodells

Das „GeometryGimIFC“ Add-In für Grasshopper ermöglicht es, auf die IFC-Datei des Ausgangsmodells durch Angabe des Dateipfades zu der Datei zuzugreifen.

Schritt 3 Einlesen von Daten aus der IFC-Datei

Um die im Kapitel 2.1 beschriebenen Struktur der IFC-Datei auszulesen, stehen Knoten des Add-Ins zur Verfügung. Folgende Strukturen, wie in Abbildung 49 dargestellt, werden benötigt. Diese Knoten ermöglichen den Zugriff auf die Ebene „IfcProduct“ der IFC-Datei. Auf dieser Ebene können alle für das Skript erforderlichen Gebäudeelemente gefunden werden, welche in Kapitel 5.1 aufgelistet wurden.

Schritt 4 Auswahl Geschossbereiche

Die nächsten Strukturen von Knoten ermöglichen es, die gewünschten Geschossbereiche auszuwählen, auf die die Begrünung angewendet werden soll. In Abbildung 50 wird gezeigt wie die oberirdischen Geschosse, die dem Index 1 bis 6 entsprechen, ausgewählt werden.

Schritt 5 Herausfiltern von Elementen der Klasse IfcWall

In diesem Schritt werden alle Wände aus dem in Schritt 4 festgelegten Geschossbereich extrahiert. Die Knoten dazu sind in Abbildung 51 dargestellt.

Ähnlich wie das Herausfiltern von Wandelementen können auch weitere Bauteile, die für die Begrünung wichtig sind, an dieser Stelle implementiert werden. Zum Beispiel können neue Regeln für die Geschossdecken- und Geländer-Elemente für Balkone oder Loggien implementiert werden. In dieser Arbeit werden jedoch nur die Wände für die Ausführung des Simulationsskriptes verwendet. Auf weiterführende Schritte wird in Kapitel 7.3 hingewiesen.

Simulation der Fassadenbegrünung

Anschließend implementieren mehrere ähnlich aufgebaute Filterstrukturen im Skript die Regeln für den Begrünungsprozess. Ihr Ziel ist es, aus dem Modell genau die Elemente herauszufiltern, auf welchen die Begrünung auf die Fassade aufgebracht werden kann. Für die nächsten Schritte werden, die in Kapitel 5.1 vorgeschriebenen IFC-Parameter, verwendet. Die Filter werden im Folgenden genauer beschrieben.

Schritt 6 Herausfiltern von Außenwänden

Ein Filter wird gesetzt, um alle Außenwände im Modell zu erfassen, wobei der IFC-Parameter „IsExternal“ wie in Abbildung 53 verwendet wird.

Schritt 7 Herausfiltern von tragfähigen Wänden

Der nächste Filter sammelt nur die tragenden Bauteile im IFC-Modell, wobei die der IFC-Parameter „LoadBearing“ wie in Abbildung 53 verwendet wird.

An dieser Stelle kann das Skript so erweitert werden, dass Filterstrukturen anhand von anderen Parameter die Auswahl spezifizieren. Dadurch können z.B. erdberührende Wände oder sonstige Wände, die keine Begrünung zulassen, ausgeschlossen werden.

Schritt 8 Herausfiltern der äußeren Oberflächen der Wände

In diesem Schritt werden mit Hilfe des Knotens „ggIFC Decompose Wall“ die Öffnungen in Geometrie umgewandelt, um sie aus den resultierenden Wand-Geometrien auszuschneiden. Die resultierenden Flächen stellen die mögliche Fassadenbegrünung des Gebäudes dar.

Schritt 9 Vorbereitung für die Unterteilung der Oberflächen

Anschließend werden die resultierenden Außenflächen in vertikale streifenförmige rechteckige Flächen unterteilt. Dazu werden die vertikalen Kanten der Öffnungen herausgezogen. Die UV-Koordinaten dieser Kanten werden verwendet, um die entsprechende Domäne zur Aufteilung der Außenflächen der Fassade zu erzeugen. Die dafür notwendigen Strukturen sind in Abbildung 54 bis Abbildung 56 dargestellt.

Schritt 10 Unterteilung der Oberflächen

Unter Verwendung dieser Domäne wird die Oberfläche dann mit dem Knoten „Isotrim“ geteilt, wie in Abbildung 56.

Schritt 11 Zusammenführen der benachbarten Oberflächen

Die Oberflächen mit der gleichen Breite werden zu einer neuen Oberfläche zusammengefügt, wie in Abbildung 57. Als nächstes werden die Flächen mit der gleichen Höhe zu einer neuen Oberfläche zusammengefügt, sodass möglichst große Flächen entstehen, um die Fassade effektiv abzudecken.

Schritt 12 Vorbereitung der Oberflächen für die verschiedenen Begrünungssysteme

Ab diesem Schritt werden die resultierenden Oberflächen begrünbare Felder bezeichnet und für jedes Begrünungssystem separat behandelt. Diese stellen die Grundgeometrie der entstehenden Begrünungsflächen dar. Für die kontinuierlichen Begrünungssysteme werden genau die resultierenden Felder übernommen.

Für die modularen Begrünungssysteme müssen die Grenzwerte der Abmessungen der berechneten Felder näher betrachtet werden. Flächen, die nicht die Mindestabmessungen für das Aufbringen einer Begrünungswand haben, werden ausgeschlossen. Das heißt, dass die Streifen, die für das Begrünungssystem zu schmal sind, herausgefiltert werden. Das Kassettensystem hat zum Beispiel eine Mindestbreite von 600 mm, daher wird jeder Streifen, der schmaler als 600 mm ist, für das Kassettensystem nicht verwendet.

Um eine optimale Begrünungsdauer der Kletterpflanzen zu bewirken und wegen der Wuchshöhe der Kletterpflanzen, wird die Höhe der Flächen für das Mischsystem auf maximal 4,0 m begrenzt. Daher werden die Flächen erneut unterteilt.

In den nächsten Schritten werden die resultierenden Felder pro Begrünungssystem nach den folgenden Funktionen sortiert:

- Ausrichtung der Felder
- Fläche der Felder
- Höhenlage der Felder

An dieser Stelle können weitere Regeln definiert werden und so den Simulationsprozess verfeinern. Im Kapitel 7.3 werden die weiterführenden Schritte und mögliche Erweiterungen für das Skript erläutert.

Schritt 13 Sortierung der Felder nach der Ausrichtung

Angenommen wird, dass die Begrünung der Südseite eines Gebäudes die größte Klimaauswirkung erzielt. Deswegen wird die Südrichtung als die Richtung der besten Exposition für die Bepflanzung eingestellt. Die Richtung kann jederzeit durch ein Eingabeparameter geändert werden. Die Felder werden nach der Richtung des normalen Vektors der Wand gruppiert, an der sie befestigt sind. Dann wird der Winkel zwischen dem Normalenvektor jeder Außenwand und der Richtung des Projekt-Süd-Vektors berechnet. Anhand dieser Werte werden die Felder aufsteigend sortiert. Je kleiner der Wert ist, desto größer ist die Sonneneinstrahlung für diese Felder. Die dafür verwendeten Knoten sind in Abbildung 58 dargestellt.

Damit die Begrünung nicht nur auf die eine Außenwand angebracht wird, sondern gleichmäßig auf das Gebäude verteilt werden kann, um so möglich gute mikroklimatische Auswirkungen erzielt, wird ein weiterer Eingabeparameter definiert, der diesen Verteilungsgrad steuert. Sobald die summierten Flächen der Felder in einer Richtung einen gewissen Wert erreicht haben, springt das Skript zu der nächsten Richtung.

Schritt 14 Sortierung der Felder nach der Fläche

Um die Felder weiter zu sortieren, wird das zweite Kriterium implementiert. Die Flächen der Felder werden berechnet. Anhand dieser Werte werden die Felder absteigend sortiert, um die Fassadenfläche effektiv abzudecken. Die größten Felder werden als erstes begrünt. Die dafür verwendeten Knoten sind in Abbildung 59 dargestellt.

Schritt 15 Sortierung der Felder nach Höhenlage

Das dritte Kriterium ist die Position der Felder. In Abbildung 60 wird die Höhe der Oberkante der Elemente berechnet und die Elemente werden anhand dieser Werte sortiert. An dieser Stelle gibt es zwei Möglichkeiten: Wird eine bessere Zugänglichkeit für die Pflege und Wartung der Begrünungssysteme angestrebt, werden die Felder aufsteigen sortiert so, dass die niedrigeren Felder als erstes begrünt werden. Im Gegensatz dazu steht jedoch eine bessere Belichtung der Pflanzen. Wird diese angestrebt, kann das Skript die Felder absteigend sortieren. Der Parameter „Zugänglichkeit“ hat daher eine Auswirkung auf die Gestaltung der Fassadenbegrünung.

Auf Basis der vorher definierten Sortierungskriterien, entsteht eine komplexe Liste von Feldern auf mehreren Ebenen, die nach der gewünschten Leistung der Begrünungsfelder sortiert ist.

Schritt 16 Auswahl der Felder für die Begrünungskombinationen

Aus dieser Liste wählt das Skript für jede Begrünungskombination, die ersten Elemente aus, die zusammengerechnet das Ziel für die begrünte Fläche erreichen. Die Auswahl berücksichtigt also die Fassadenflächen aufgrund ihrer Ausrichtung, Flächengrößen, Position und Zugänglichkeit. Dadurch wird eine effiziente Begrünungsfläche erzielt.

Schritt 17 Ausgabe der Simulation

Die auszuwertenden Daten sowie die Geometrie für die Begrünungssysteme werden für den Export vorbereitet, die für die Virtual Reality-Visualisierung und für den weiteren Planungsprozess verwendet werden sollen.

Pro Begrünungskombination werden folgende Ausgabedaten vorbereitet:

- Auswertung der Vergleichskriterien,
- 3D-Ansicht,
- XLS -Datei für die Datenvisualisierung in MS PowerBI,
- SAT-Datei und 3DM-Datei für die Verwendung in REVIT und
- FBX-Datei für die Virtual Reality-Anwendung (Optional)

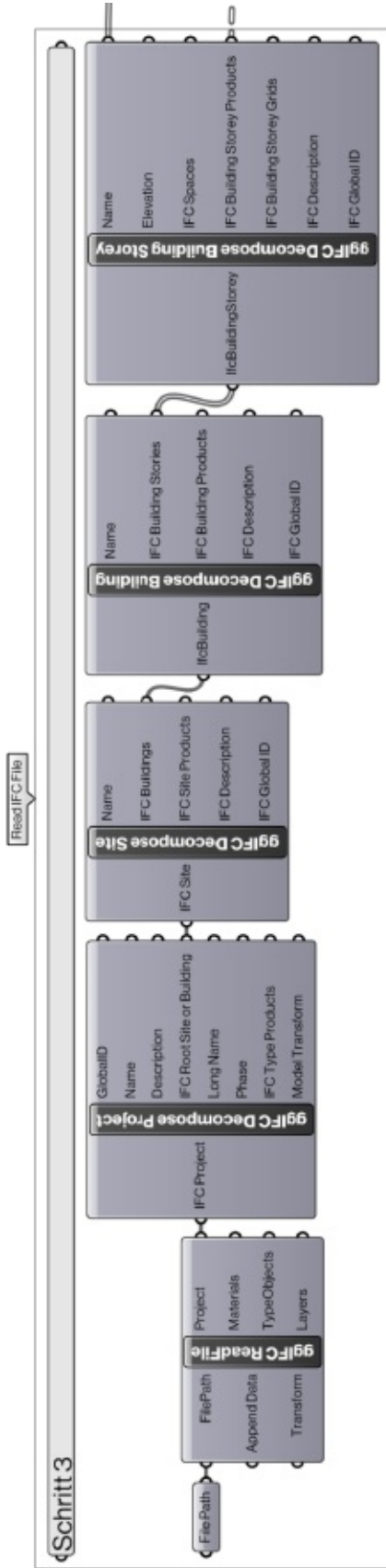


Abbildung 49 Einlesen von Daten aus der IFC-Datei in GH

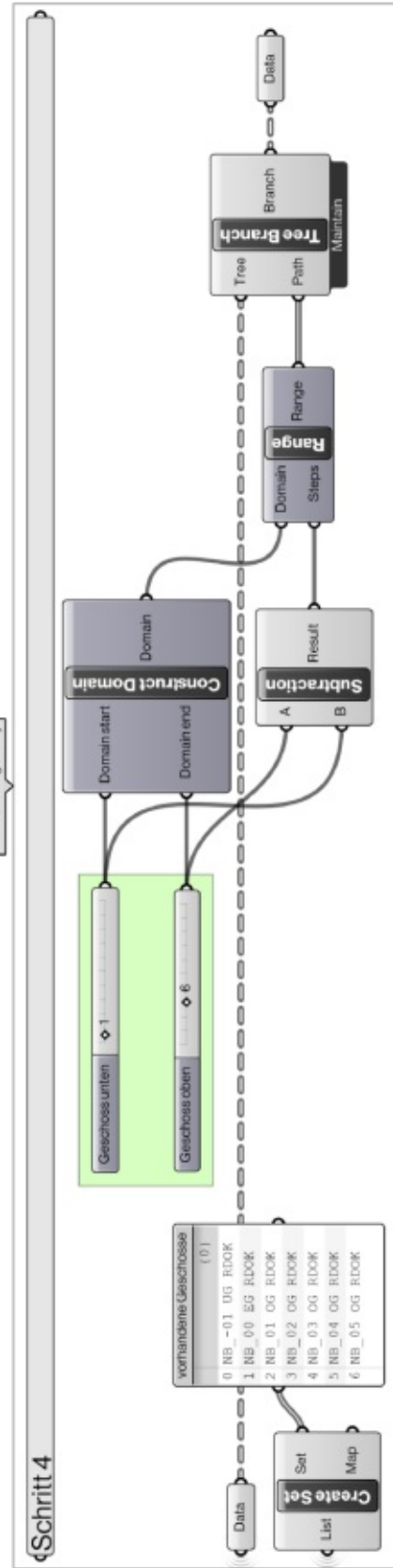


Abbildung 50 Auswahl Geschossbereiche in GH

Simulation der Fassadenbegrünung

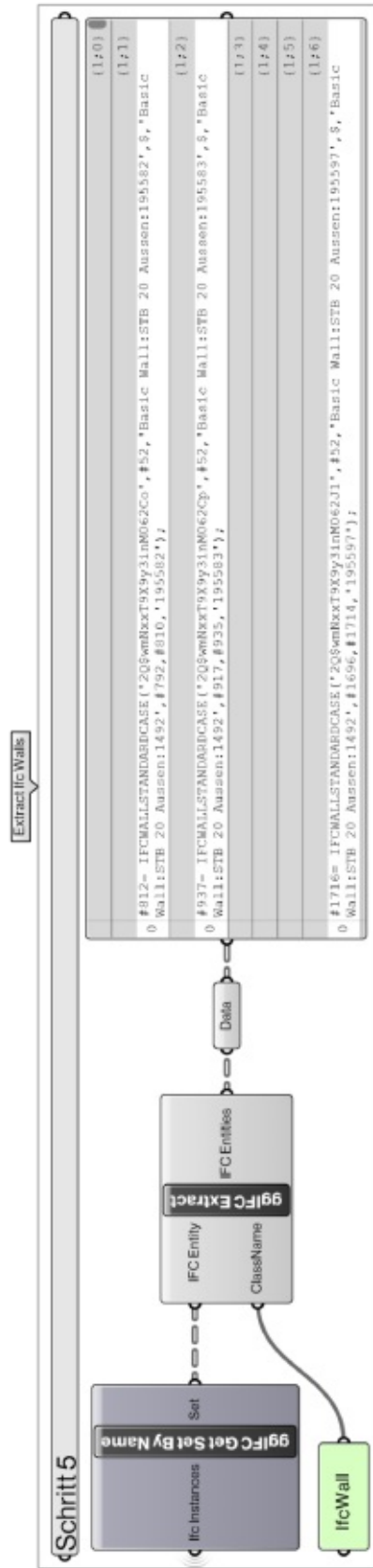


Abbildung 51 Herausfiltern von Elementen der Klasse IfcWall in GH

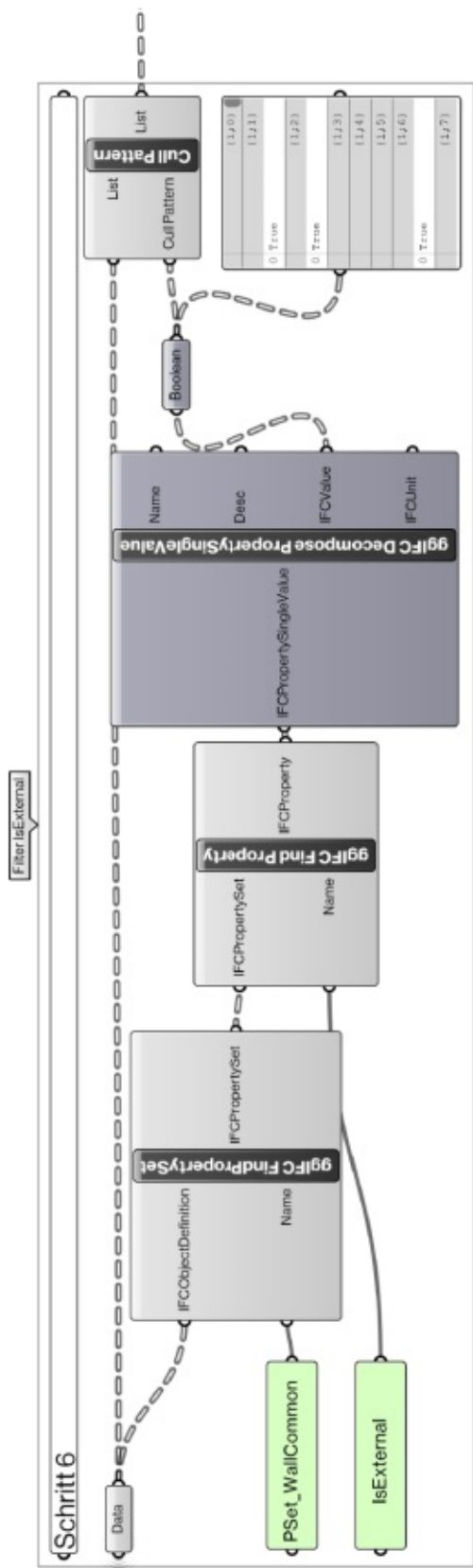


Abbildung 52 Filtern von Außenwänden in GH

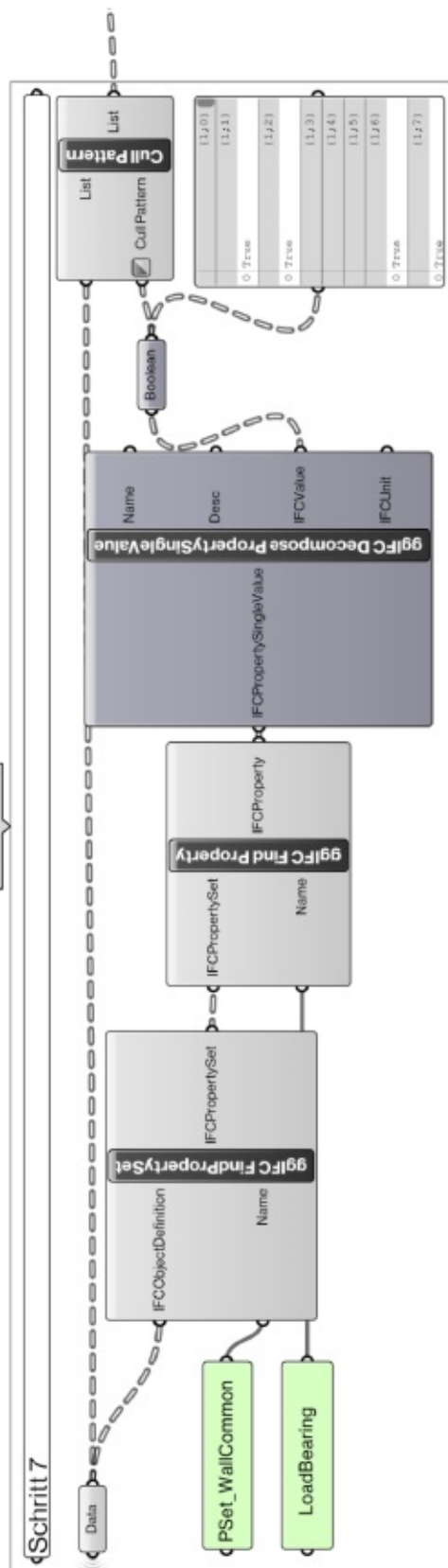


Abbildung 53 Filtern von tragenden Wänden in GH

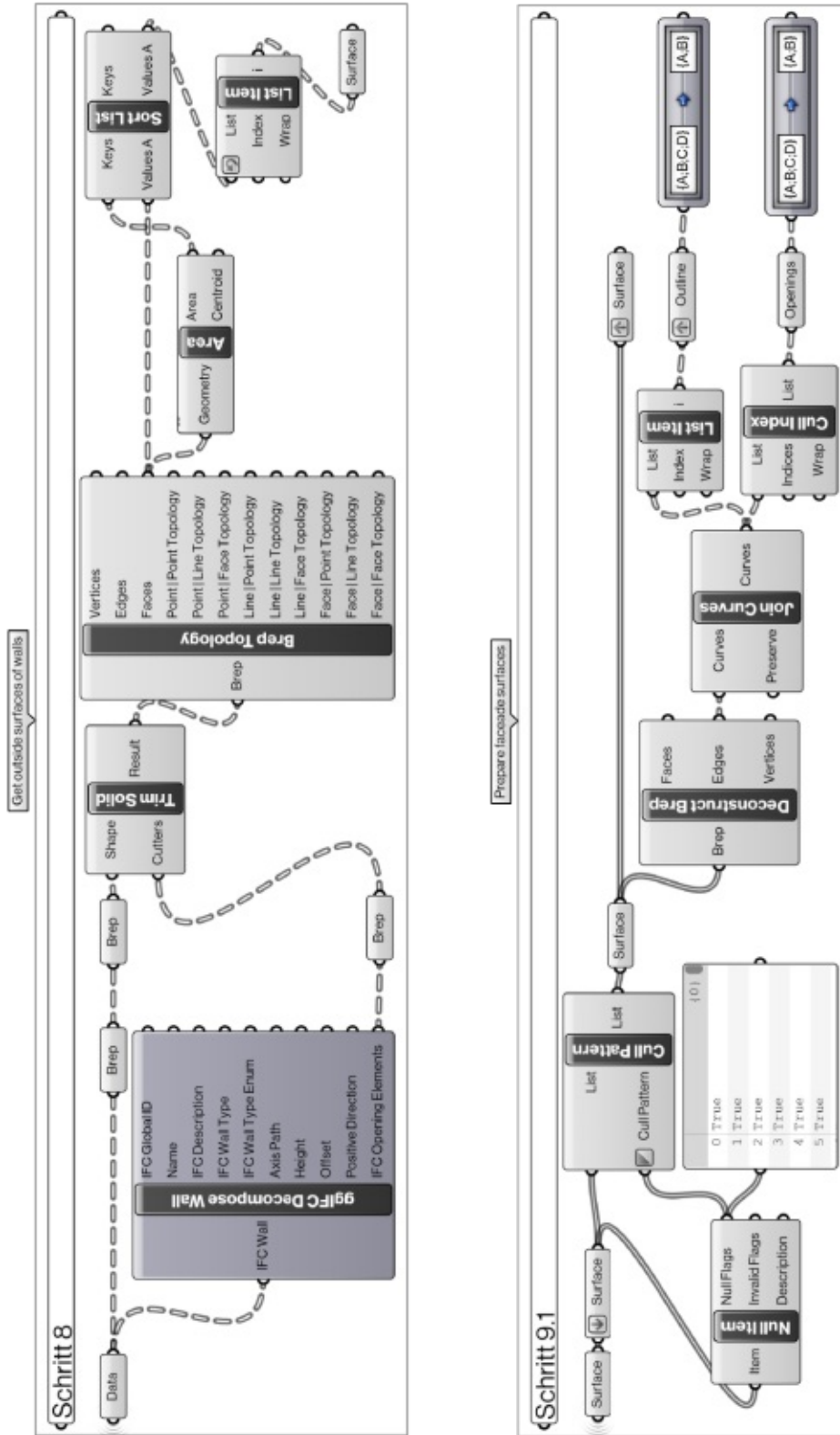


Abbildung 54 Filtern der äußeren Oberflächen der Wände in GH

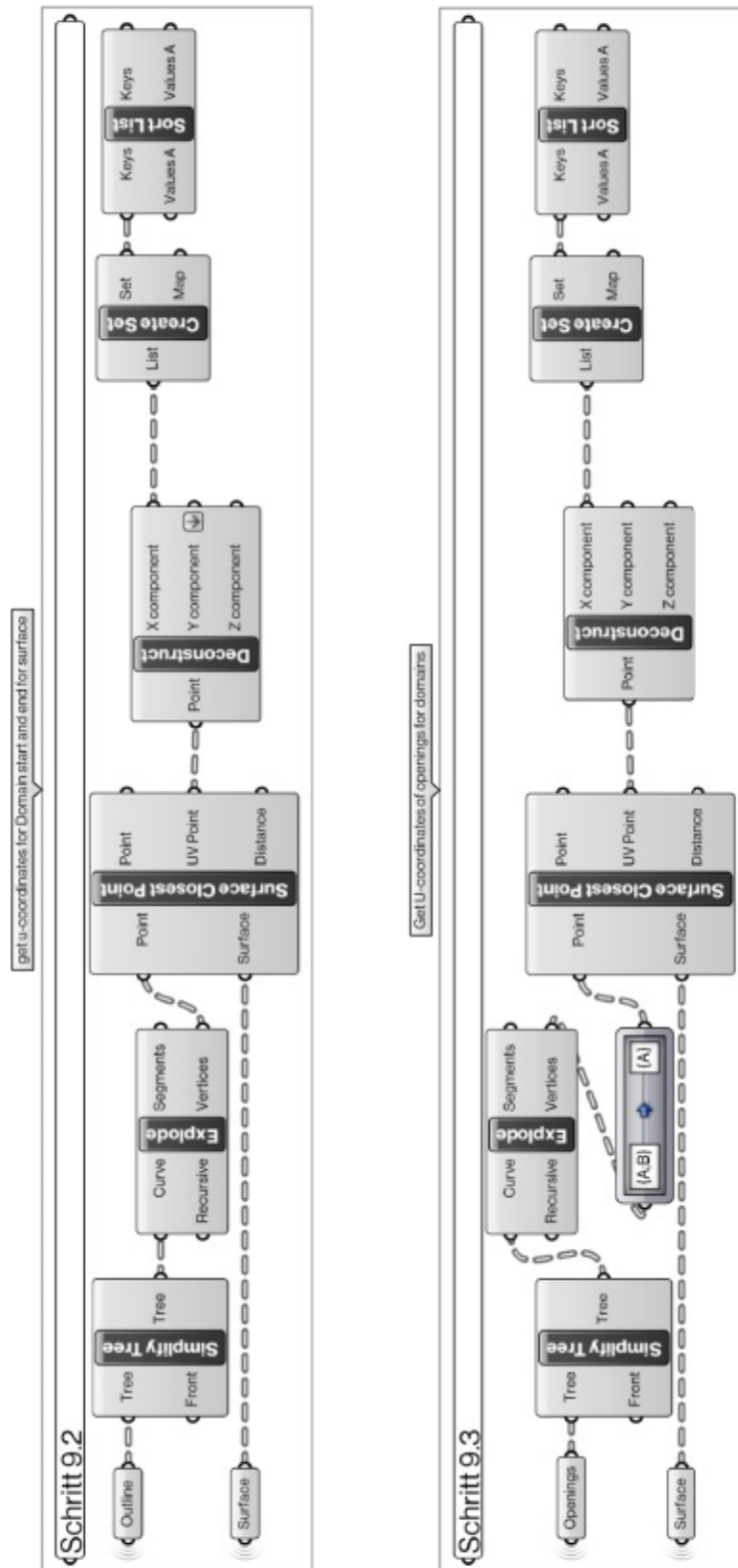


Abbildung 55 Vorbereitung für die Unterteilung der Oberflächen in GH

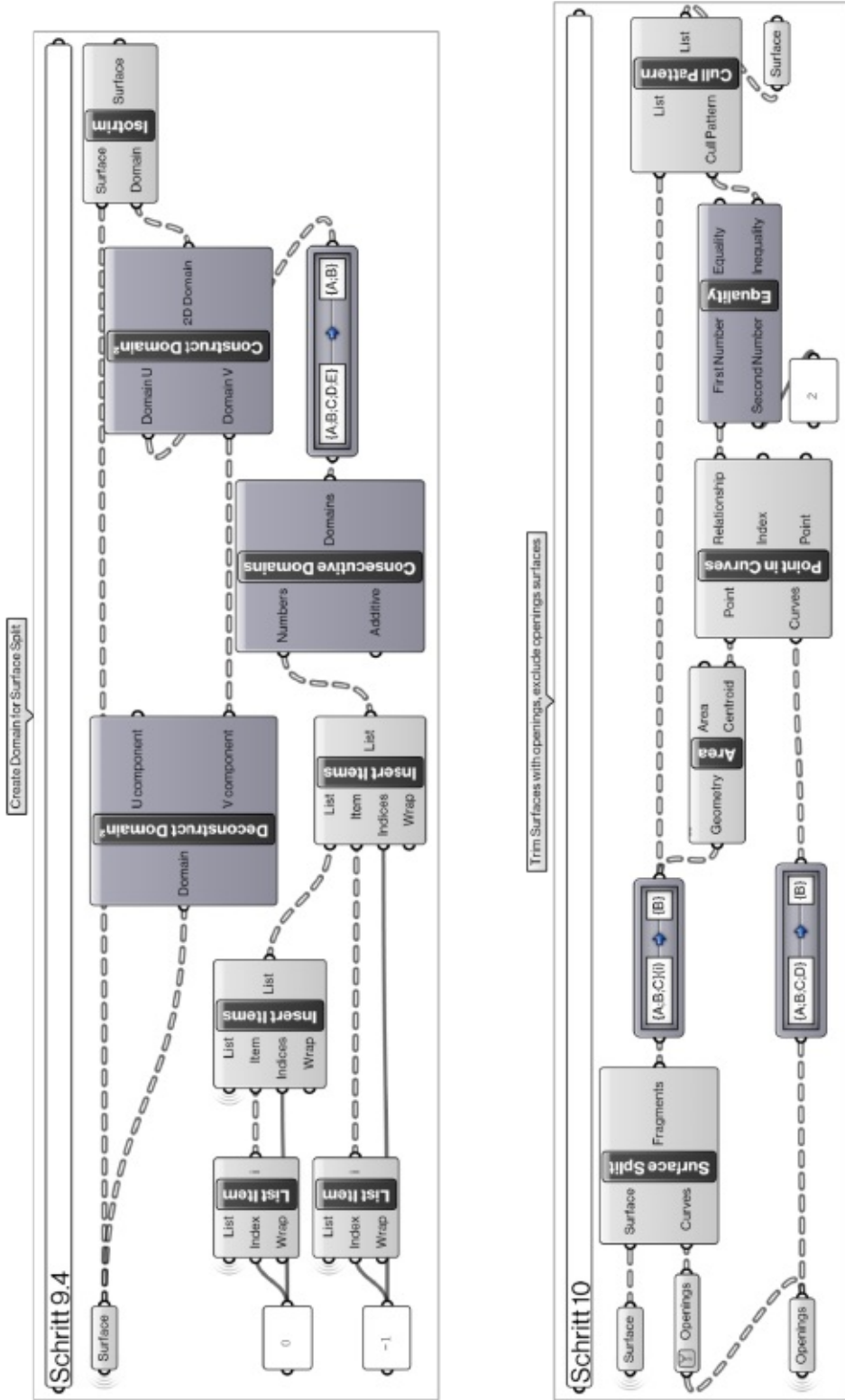


Abbildung 56 Unterteilung der Oberflächen

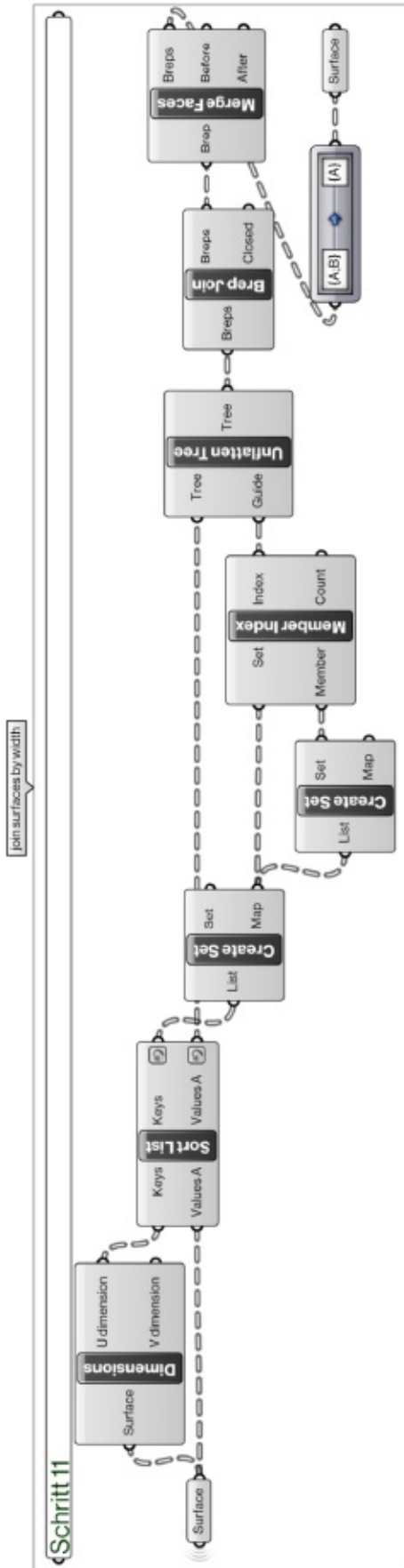


Abbildung 57 Zusammenführen der benachbarten Oberflächen

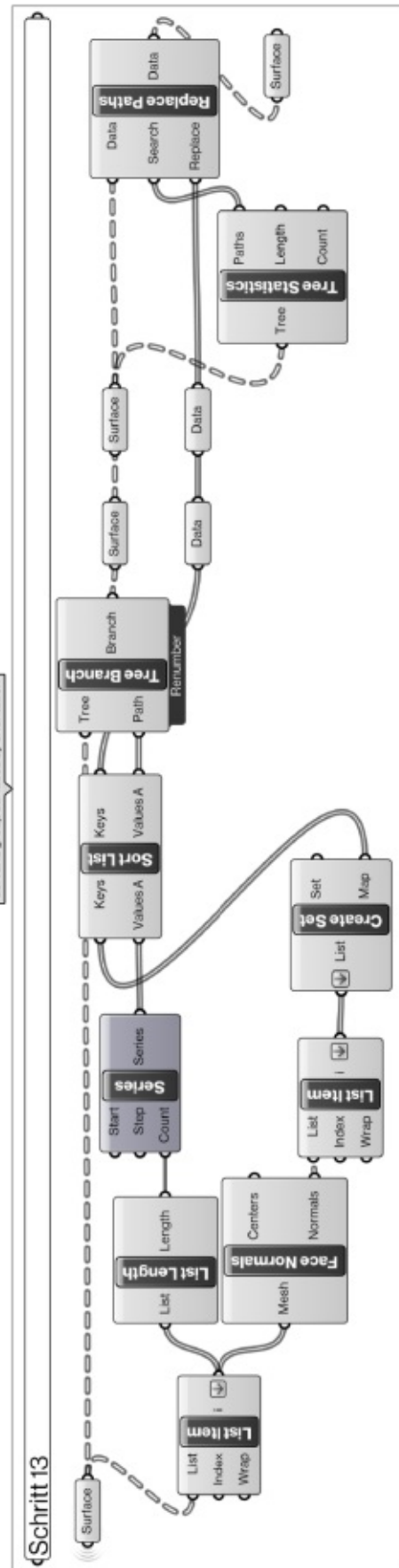


Abbildung 58 Sortierung der Felder nach der Ausrichtung

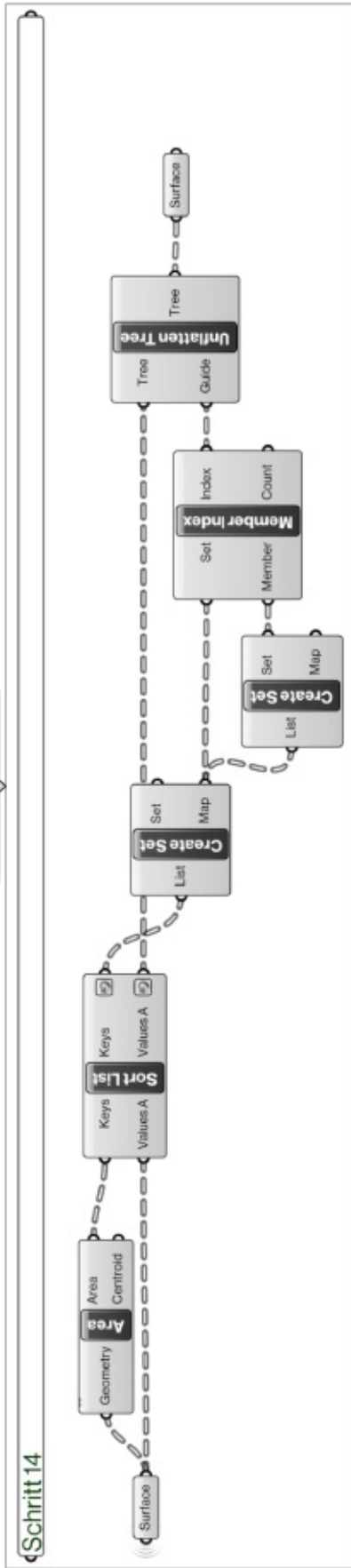


Abbildung 59 Sortierung der Felder nach der Fläche

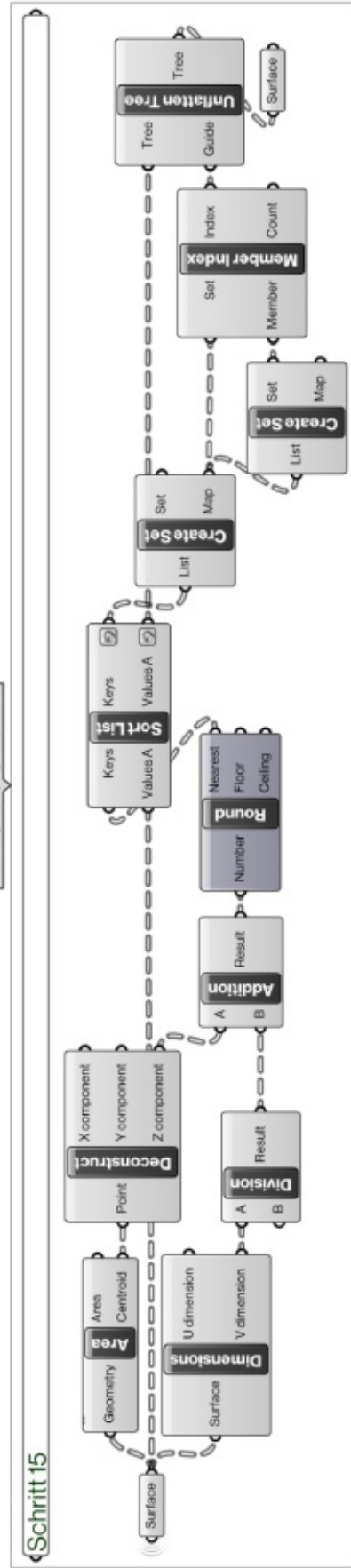


Abbildung 60 Sortierung der Felder nach Höhenlage

5.4. Anwendung des Simulationsskriptes

Zusammenfassend beschreibt dieses Kapitel die Schritte der Durchführung des Simulationsskriptes.

Ausführung des Skriptes

Vorerst muss RHINO gestartet werden. Anschließend muss Grasshopper gestartet und das Skript geöffnet werden. Vor dem Anwenden des Skriptes müssen alle Eingabedaten aus dem Kapitel 5.3.2 Schritt 1 und Schritt 2 überprüft werden. Die externen Eingabeparameter müssen ausgelesen werden und das Ausgangsmodell muss verlinkt werden. Danach wird das Skript ausgeführt und damit die Ausgabedaten generiert. Letztendlich können die Simulationsergebnisse (Kapitel 5.3.2 Schritt 17), also die verschiedenen Begrünungsvarianten angezeigt werden.

Anwendung der Endergebnissen für die weitere Planung

Sind die Ergebnisse nach der Evaluierung als Endergebnisse zu betrachten, können diese exportiert werden und in den weiteren Planungsphasen in REVIT importiert und für die Modellierung der Fassadensysteme verwendet werden. Die Anleitung dazu ist in Kapitel 4.4.2 enthalten.

6. Anwendungsbeispiel und Ergebnisse

Um die erstellten BIM-Objekte sowie die Begrünungsvorlage und das Skript zu testen und zu demonstrieren, wurden alle in den vorherigen Kapiteln erläuterten Schritte an einem Anwendungsbeispiel ausgeführt.

6.1. Ausgangsmodell

Als Beispielmodell wurde ein fiktives Wohngebäude ausgewählt. Das Gebäude wird in ein Kellergeschoss, vier Regelgeschosse und ein Dachgeschoss unterteilt. Das Gebäude liegt in Wien in der Karl-Metschl-Gasse 17 im 16. Bezirk. Die Lage und Ausrichtung werden der Abbildung 61 entnommen. Es ist ein freistehendes Gebäude mit einer gesamten Fassadenfläche von 1350 m², wie in Abbildung 62 und Abbildung 70 dargestellt. Die außergewöhnliche Form des Gebäudes dient dazu die Skripte für verschiedene Situationen vorzubereiten und so das Simulations-Skript stabiler zu gestalten.



Abbildung 61 Lageplan Karl-Metschl-Gasse 17

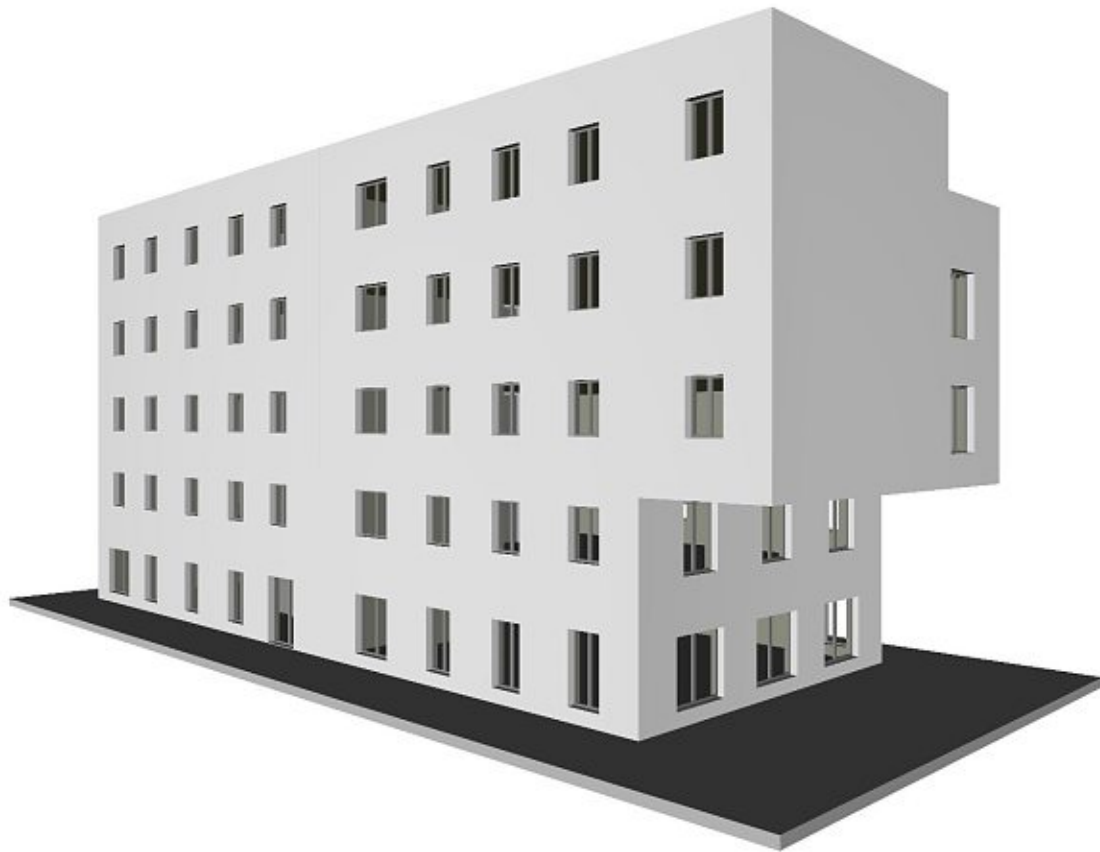


Abbildung 62 Ausgangsmodell Ansicht Süd-West

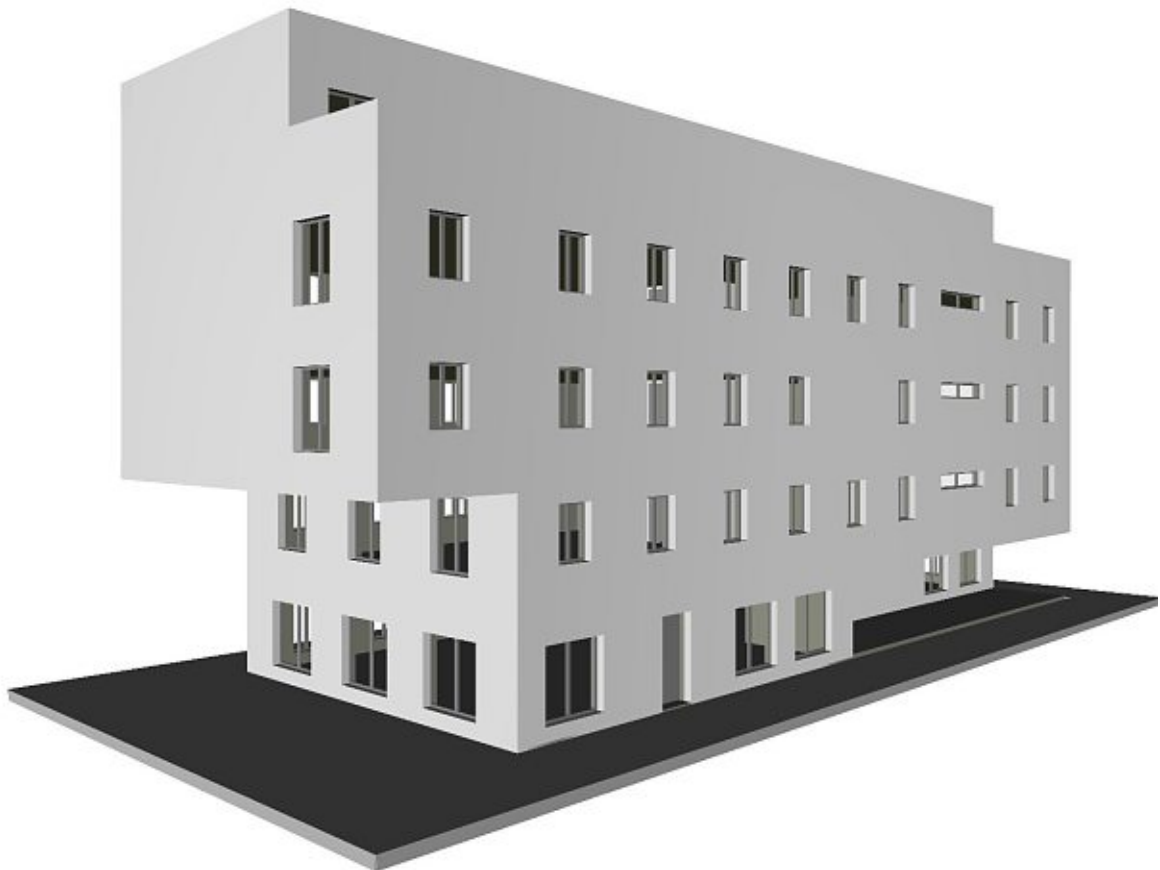


Abbildung 63 Ausgangsmodell Ansicht Süd-Ost

Die Kombinationen für die Begrünungen bestehen aus drei Auswahlmöglichkeiten. Wie in Abbildung 64 dargestellt werden erstens für den Anwendungsbeispiel vier von den fünf Begrünungssysteme ausgewählt: die bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe, das Kassettensystem, das Trogsystem, und das Mischsystem. Zweitens wird bezüglich der Fassadengestaltung die Variante mit vertikalen Streifen ausgeführt. Drittens werden folgende Begrünungsflächenziele: 10% und 20% der gesamten für die Begrünung zur verfügbaren Fassadenfläche simuliert. Die Begrünungsflächen liegen also bei 135 m² und 270 m² der gesamten Fassadenfläche. Darüber hinaus wurde eine bessere Exposition für die Begrünung gegenüber der Zugänglichkeit für die Pflege und Wartung der Begrünungssysteme, bevorzugt. Diese Eingaben fließen alle in die automatisierte Simulation ein.



Abbildung 64 Auswahl Begrünungskombinationen

Das Ausgangsmodell wurde als IFC-Datei eingelesen und das Skript in Grasshopper durchgeführt. Im Nachhinein wurden die resultierenden Begrünungsflächen in REVIT als 3DM/SAT Dateien importiert. Anhand dieser Geometrien wurden folgende Begrünungsvarianten modelliert. Für die fassadengebundenen Begrünungssysteme wurde die Fassadenfläche im Erdgeschoss ausgeschlossen.

6.2. Begrünungsvarianten

Die Varianten für die bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe sind in Abbildung 65 und Abbildung 66 dargestellt.



Abbildung 65 bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe – 10% Begrünungsfläche



Abbildung 66 bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe – 20% Begrünungsfläche

Die Varianten für die fassadengebundene Begrünung, das Trogsystem sind in Abbildung 67 und Abbildung 68 dargestellt.



Abbildung 67 Trogsystem – 10% Begrünungsfläche



Abbildung 68 Trogsystem – 20% Begrünungsfläche

Anwendungsbeispiel und Ergebnisse

Die Varianten für die fassadengebundene Begrünung, das Mischsystem aus Beton-Trögen und Kletterhilfen sind in Abbildung 69 und Abbildung 70 dargestellt.



Abbildung 69 Mischsystem – 10% Begrünungsfläche



Abbildung 70 Mischsystem – 20% Begrünungsfläche

Die Varianten für die fassadengebundene Begrünung mittels Kassettensystem sind in Abbildung 71 und Abbildung 72 dargestellt.



Abbildung 71 Kassettensystem – 10% Begrünungsfläche



Abbildung 72 Kassettensystem – 20% Begrünungsfläche

6.3. Kostenvergleich

Die Kosten gelten nur für dieses eine Beispiel und sind nicht als verallgemeinerbare Preise zu verstehen. Besonders die Pflegekosten können sehr stark schwanken in Abhängigkeit der Größe des Gesamtsystems.

Auf Grundlage des BIM Modells leiten sich folgende Daten ab, wie in Tabelle 14 abgebildet. Jede Zeile beinhaltet je ein Begrünungssystem und eine Begrünungsvariante. Die Kosten-Richtwerte entsprechen den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Angaben. Das angenommene Zeithorizont beträgt 25 Jahre.

Tabelle 14 Auszug Berechnungstabelle

Greenclass Number	Option	Kosten			
		Errichtung €	Pflege und Instandhaltung €	Abbruch und Entsorgung €	Gesamt €
Green.A.1.1	OPT1 - 10% 135m ²	6,864.89	55,680.31	1,327.21	63,872.41
Green.B.1.2	OPT1 - 10% 135m ²	150,314.00	200,850.00	4,423.08	355,587.08
Green.B.2.1	OPT1 - 10% 135m ²	116,411.31	147,631.53	2,897.78	266,940.62
Green.B.2.2	OPT1 - 10% 135m ²	22,231.79	129,859.82	2,147.20	154,238.80
Green.A.1.1	OPT2 - 20% 270m ²	14,049.22	90,301.95	2,712.08	107,063.25
Green.B.1.2	OPT2 - 20% 270m ²	277,912.28	352,752.71	8,190.27	638,855.25
Green.B.2.1	OPT2 - 20% 270m ²	229,152.56	269,340.83	5,716.31	504,209.70
Green.B.2.2	OPT2 - 20% 270m ²	44,018.99	229,648.51	4,142.97	277,810.47

Die Tabelle kann bei jeder Änderung aus dem BIM Modell exportiert werden und in Microsoft PowerBI aktualisiert werden. Basierend auf diesen Daten sind folgende Diagramme entstanden.

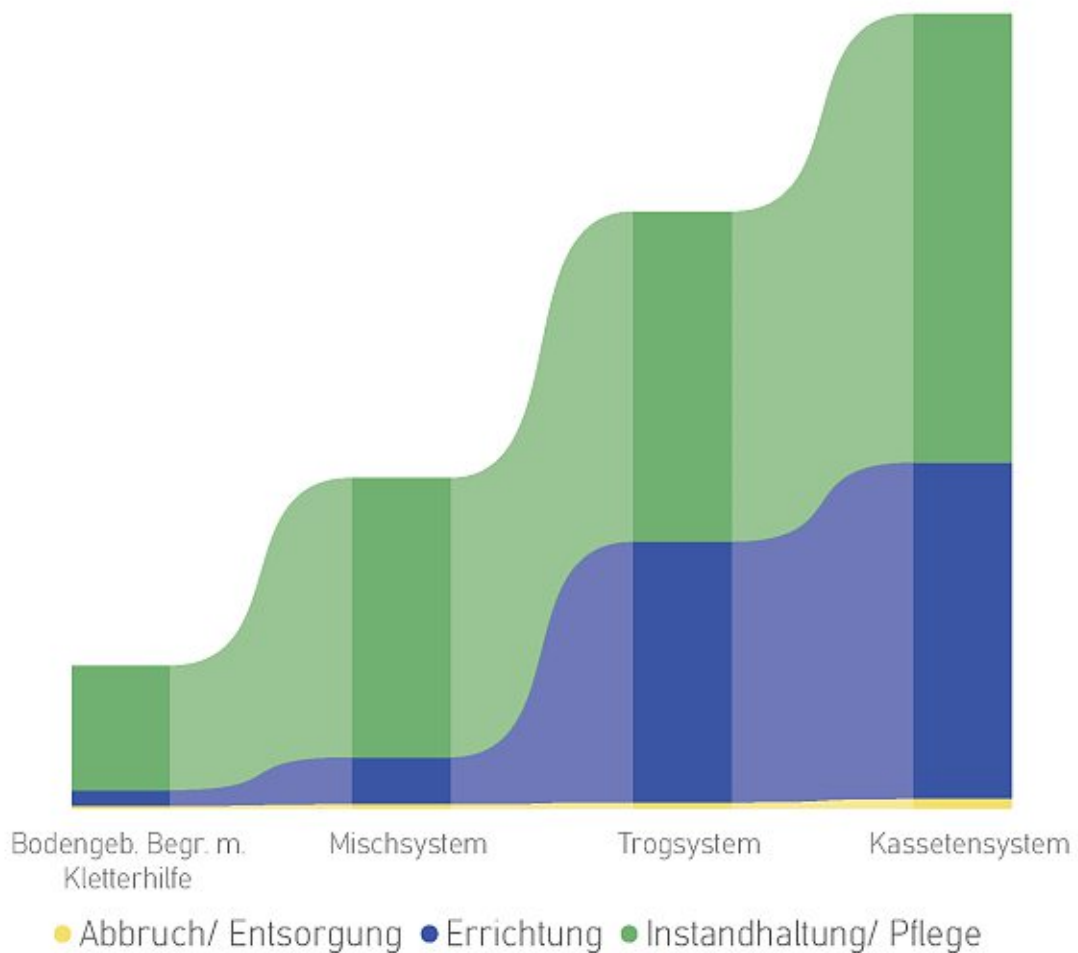


Abbildung 73 Datenvisualisierung Preisentwicklung Begrünungssysteme

In Abbildung 73 sind die Begrünungssysteme nach Gesamtkosten in steigender Reihenfolge sortiert. Die Kosten werden aufgeteilt in Kosten für die Errichtung, Kosten für die Instandhaltung und Pflege und Kosten für den Abbruch und die Entsorgung.

In den folgenden Diagramme werden die Begrünungssysteme pro Option gegenübergestellt. Die Option 1: 10% Begrünungsfläche ist in Abbildung 74 und die Option 2: 20% Begrünungsfläche ist in Abbildung 75 dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind die Kostenkategorien und auf der vertikalen Achse die Kosten in Euro angegeben. Pro Kostenkategorie werden die vier Begrünungssysteme mit je einer Farbe dargestellt und verglichen.

In Abbildung 76 bis Abbildung 79 werden die einzelnen Systeme abgezeichnet. Pro Begrünungssystem wird der Vergleich zwischen der Option 1: 10% Begrünungsfläche und der Option 2: 20% Begrünungsfläche in Detail dargestellt. Die Balkendiagramme zeigen den Vergleich der zwei Optionen bezogen auf die Kosten an und das Ringdiagramm gibt die Prozente der einzelnen Kostenkategorien an. Die aufgeschlüsselten Kosten sind nochmals tabellenartig für jede Variante aufgelistet.

Mit diesen Darstellungen kann z.B. die Kostenthematik interaktiv veranschaulicht werden. Die Ergebnisse in Folge von Planungsänderungen können auf Grund eines robusten und teilweise automatisierten Ablaufes, effizient aktualisiert werden.

Anwendungsbeispiel und Ergebnisse

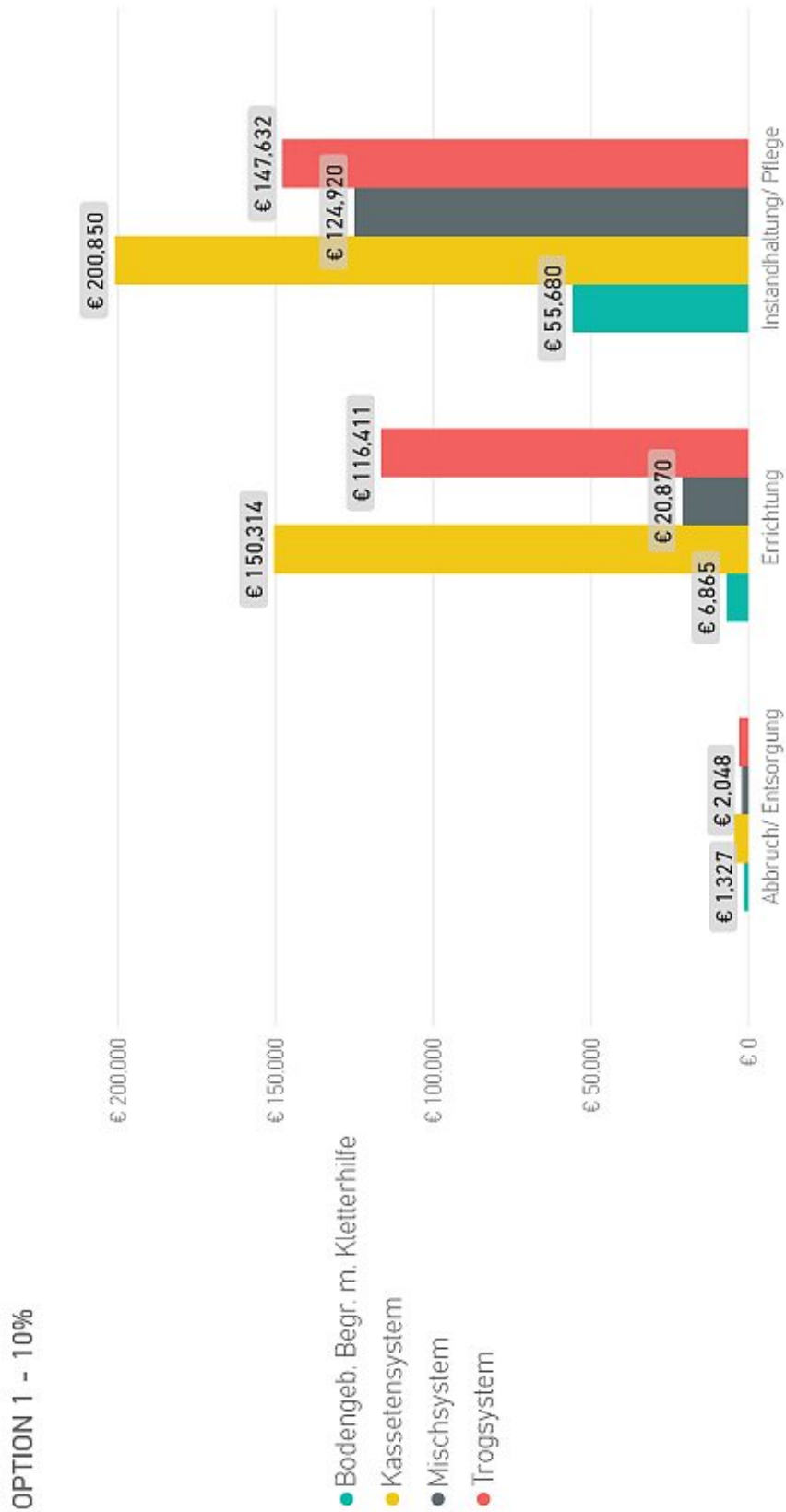


Abbildung 74 Datenvisualisierung Option 1 - 10% Begrünungsfläche

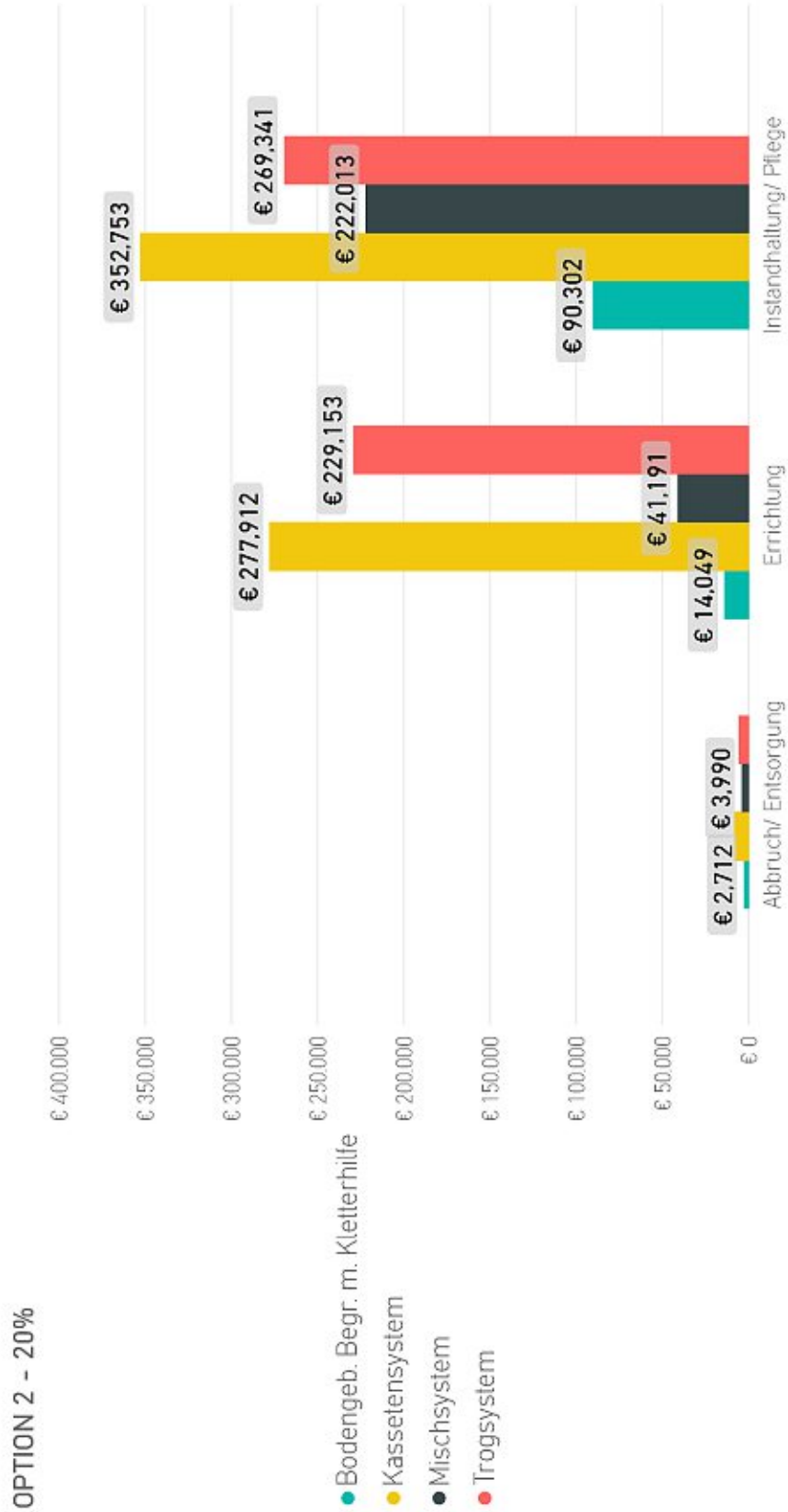


Abbildung 75 Datenvisualisierung Option 2 - 20% Begrünungsfläche

Anwendungsbeispiel und Ergebnisse

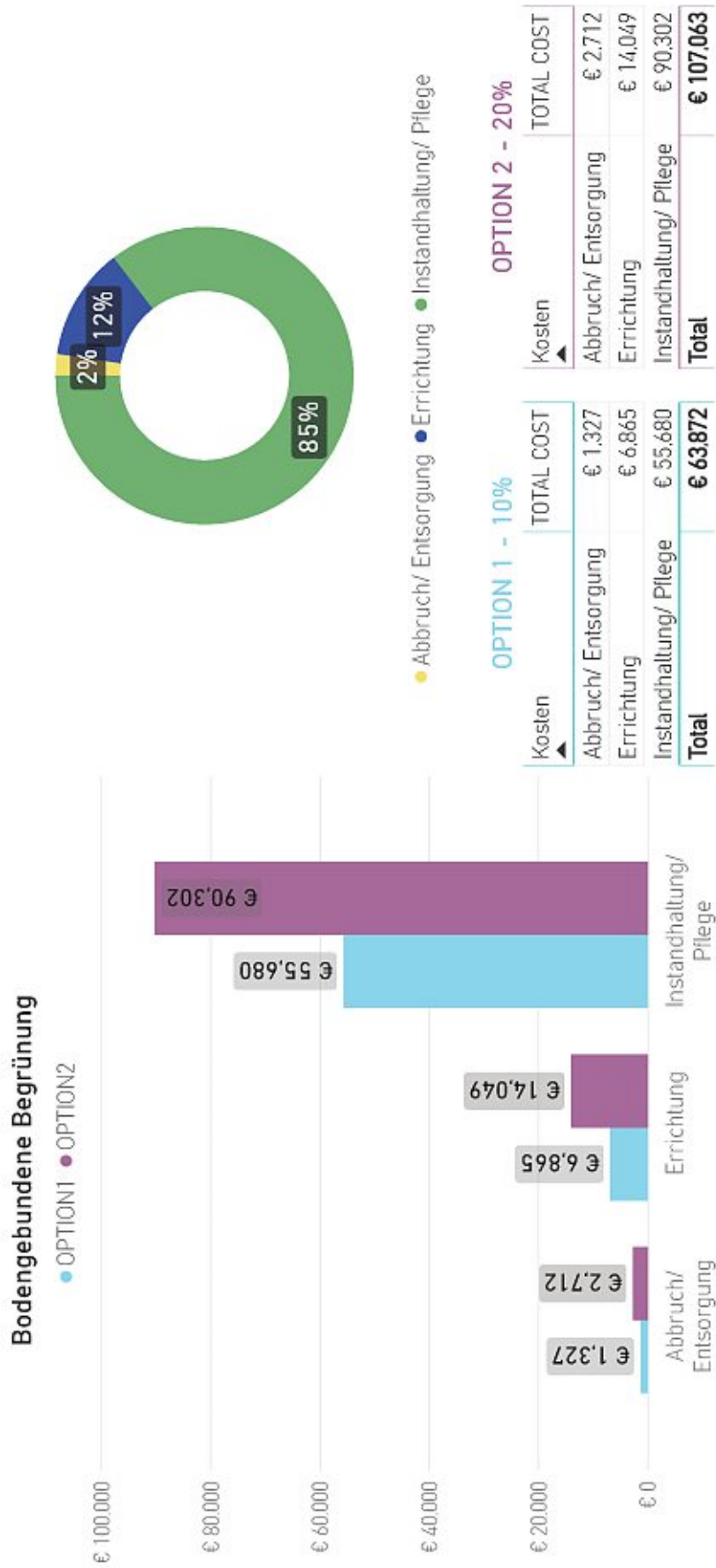


Abbildung 76 Datenvisualisierung Bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe

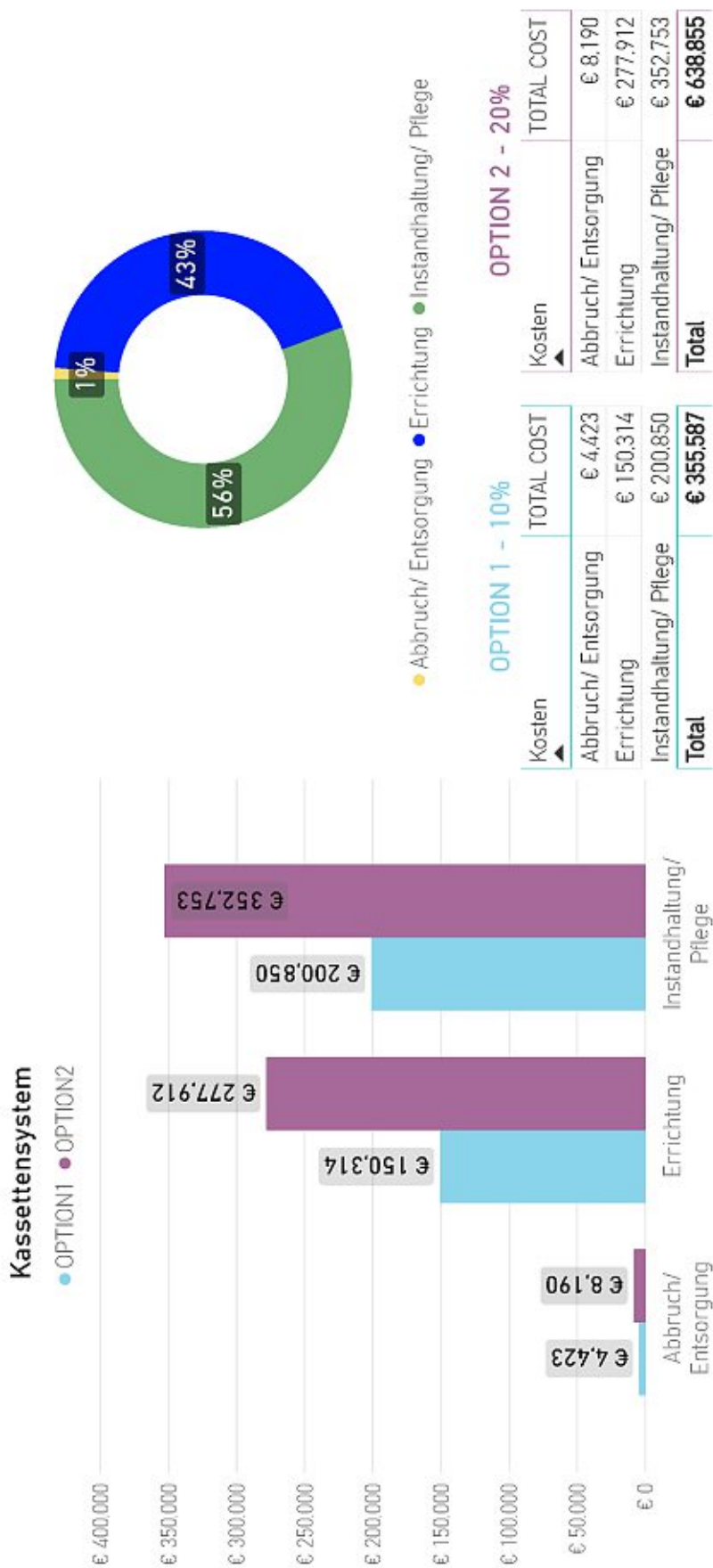


Abbildung 77 Datenvisualisierung Kassettensystem

Anwendungsbeispiel und Ergebnisse

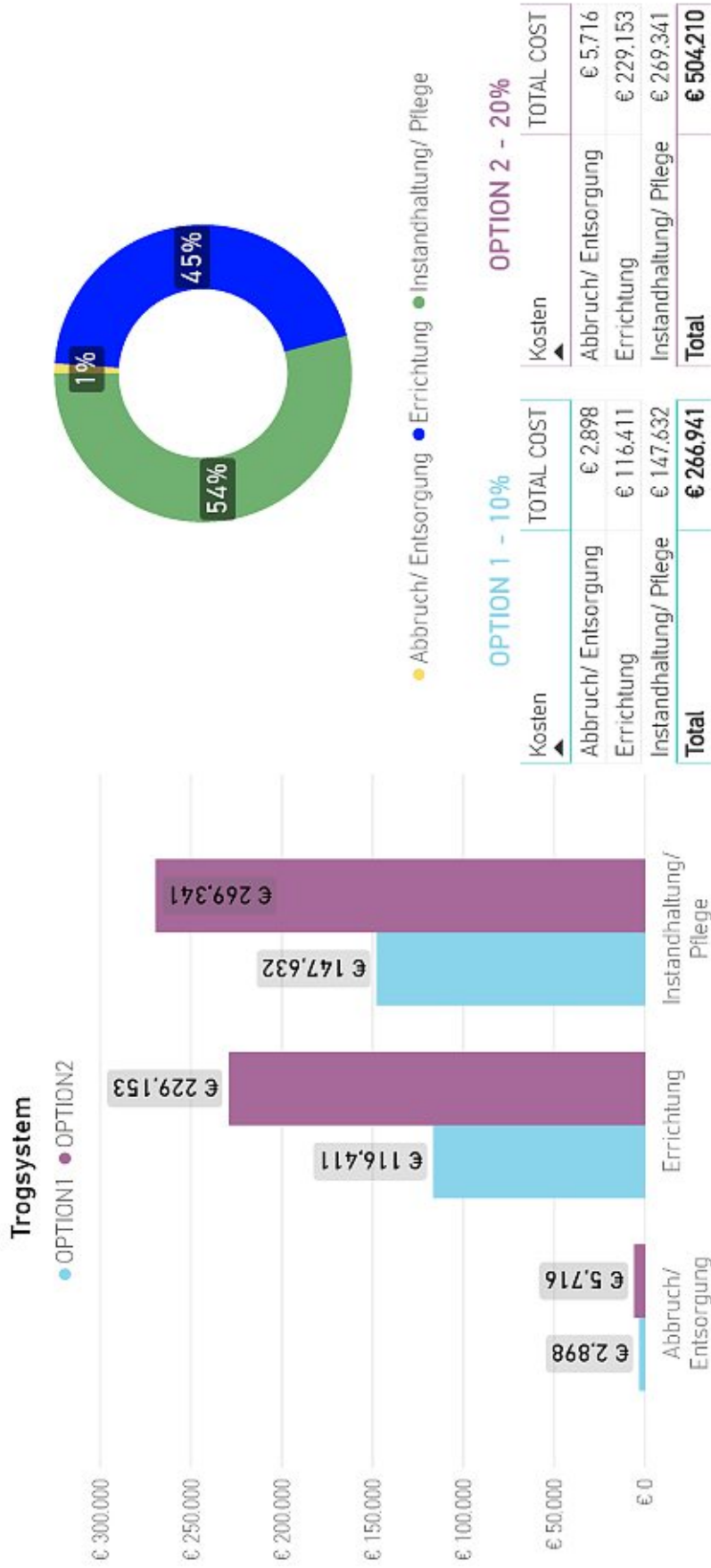


Abbildung 78 Datenvisualisierung Trogsystem

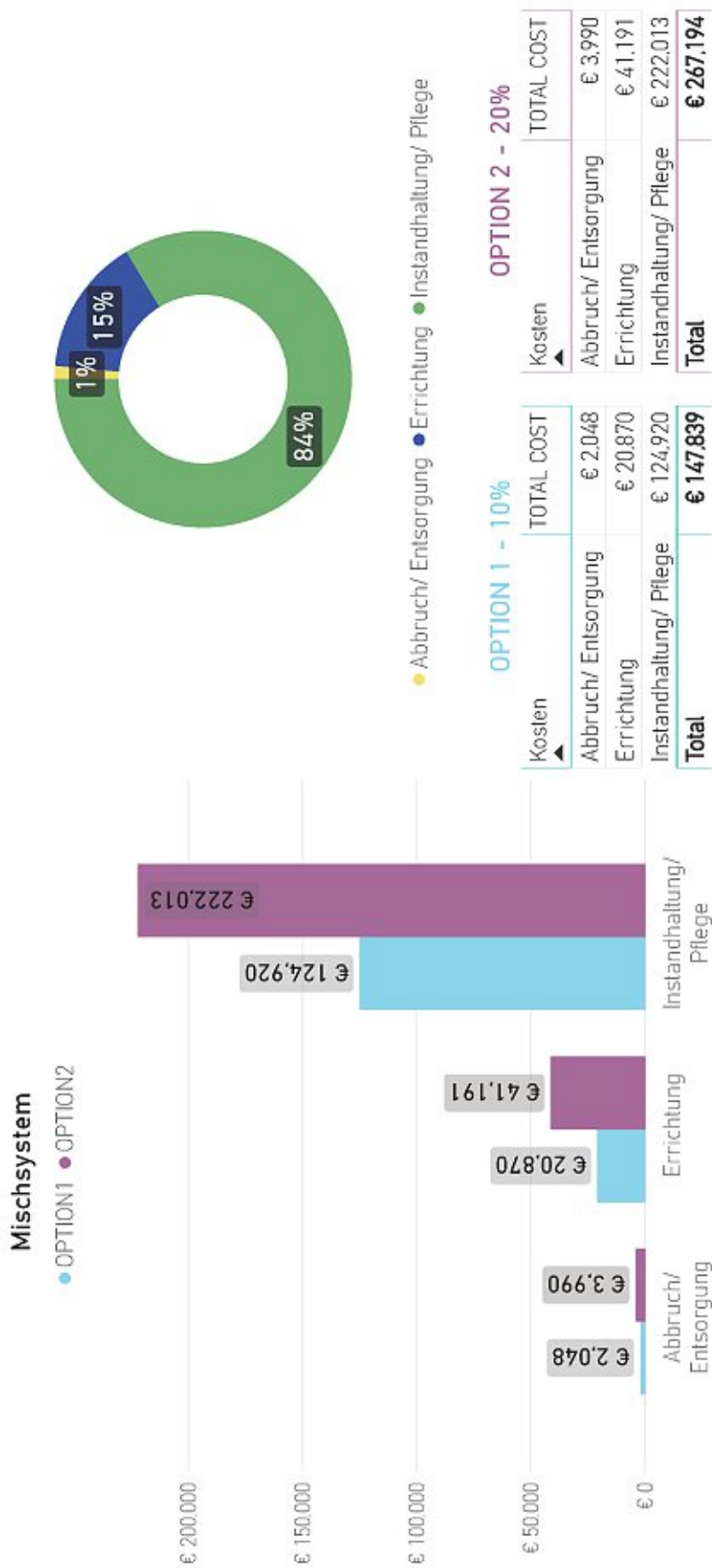


Abbildung 79 Datenvisualisierung Mischsystem

6.4. Visualisierung in Virtual Reality

Auf Basis des Beispielmodells sind mehrere Virtual Reality Szenen entstanden. Eine Auswahl an Visualisierungen sind in den nachstehenden Abbildungen zu sehen. In Abbildung 80 ist das Ergebnis für das Kassettensystem mit 20% Begrünungsfläche dargestellt. Die vorhandene Geometrie wurde aus REVIT als FBX Format exportiert. Die Vegetation wurde in Twinmotion anhand der Oberflächen der Geometrien eingefügt.



Abbildung 80 Visualisierung in Twinmotion: Kassettensystem – 20% Begrünungsfläche

In Abbildung 81 und Abbildung 82 ist die bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe mit 20% Begrünungsfläche dargestellt. In diesem Fall wurde der Geometrie für die Kletterhilfe ein Gerüst ähnliches transparentes Material zugewiesen. Die Vegetation wurde dann anhand der Oberflächen generiert.



Abbildung 81 Visualisierung in Twinmotion: bodengeb. Begrünung mit Kletterhilfe – 20% Begrünungsfläche



Abbildung 82 Visualisierung in Twinmotion: bodengeb. Begrünung mit Kletterhilfe – 20% Begrünungsfläche

6.5. Mengenermittlung

Auf Basis des Ausgangsmodells sind beispielsweise für die troggebundene Begrünungsvariante mit 20% Begrünungsfläche folgende Materialmengen ermittelt worden. Die unteren Tabellen stellen die Massen der Aluminiumtröge und der Substratmengen, die gebraucht werden, dar. Die gleichen Massenermittlungen sind auch für die anderen Begrünungsvarianten verfügbar. Die Tabellen in REVIT sind ähnlich wie die Berechnungstabelle in Kapitel 4.3.2 erstellt worden.

Tabelle 15 Trogsystem – Mengenermittlung Material: Aluminium

Stückanzahl	Materiallänge (lfm)	Materialfläche
Aluminium		
8	184.83 m	185.78 m ²
4	98.45 m	98.95 m ²
3	78.37 m	78.77 m ²
4	115.36 m	115.93 m ²
4	120.96 m	121.56 m ²
3	104.52 m	105.03 m ²
4	206.79 m	207.75 m ²
3	328.02 m	329.47 m ²
33	1237.30 m	1243.23 m²

Tabelle 16 Trogsystem – Mengenermittlung Material: Substrat

Stückanzahl	Materialfläche	Materialvolumen
Substrat		
8	81.66 m ²	1.93 m ³
4	43.42 m ²	1.03 m ³
3	34.51 m ²	0.82 m ³
4	50.68 m ²	1.20 m ³
4	53.08 m ²	1.26 m ³
3	45.73 m ²	1.09 m ³
4	89.92 m ²	2.16 m ³
3	141.66 m ²	3.42 m ³
33	540.66 m²	12.90 m³

Anwendungsbeispiel und Ergebnisse

6.6. Leistungsbeschreibungen Hochbau

In folgenden Tabelle sind die Massen für die Leistungsbeschreibung, die anhand der recherchierten Ausschreibungstexte, die in Kapitel 4.5 beschrieben sind, abgebildet. Wird diesen Positionen den aktuellen Preis zugewiesen, können die Gesamtkosten in Detail berechnet werden. Weitere Bestandteile der Begrünungssysteme können auf die gleiche Weise implementiert werden, um einen höheren Genauigkeitsgrad für die Berechnung zu erzielen. Dazu mehr in den Kapitell 7.3.

Tabelle 17 Ergebnis der Ausschreibungspositionen für das Trogsystem

Position	Kurztext	Auswertung	Einheit
687210			
687210CZ	Teilfl. Veg.tr. Pflanztrogsprofile Edelstahl	1974.58	lfm
687211			
687211AZ	Teilfl. Veg.tr. Vegetationstechnik	1974.58	lfm
687212			
687212BZ	Teilfl. Veg.tr. Bepflanzung m.Topfb.9x9 6/lfm	11847.45	Stück
687213			
687213AZ	Teilfl. Veg.tr. Depotdüngung	1974.58	lfm
687410			
687410AZ	Anwuchspflege	15.00	PA

7. Schlussfolgerung

Im Zuge der Entwicklung dieser Arbeit stellte sich heraus, dass durch die Anwendung von BIM innovative Lösungen für derzeitige Herausforderungen, wie die Fassadenbegrünung von Gebäuden in der Baubranche zu bewältigen sind. Die Erkenntnisse, Herausforderungen und die weiterführenden Schritte werden in Folgenden verdeutlicht.

7.1. Erkenntnisse

Die Integrierung von Fassadenbegrünungen ist in BIM möglich und kann darüber hinaus automatisiert werden.

Durch die Verwendung von BIM-Objekten können anhand der Parameter und Geometrien Berechnungen durchgeführt werden, die eine große Aussagekraft für die Entscheidungsfindung tragen. Im Kapitel 4 wird im Detail beschrieben wie die BIM-Objekte für die Fassadenbegrünung erstellt und angewendet werden.

Der IFC-Standard ermöglicht es, ein Regelwerk zu definieren und die Rahmenbedingungen für die automatisierte Planung festzulegen. Daher können Planer*innen unabhängig von der eingesetzten Software die Begrünungswerkzeuge anwenden. Dabei sind die Anforderungen an die Eingabedaten zu beachten. Ein Ausgangsmodell zur Anwendung der Begrünungswerkzeuge muss der notwendigen Klassifizierung der Bauteile unterliegen. Darüber hinaus müssen die bei den Bauteilen notwendige Parameter ausgefüllt sein, um die automatisierte Generierung der Ergebnisse zu gewährleisten. Die tragenden Außenwände müssen z.B. genau definiert werden, um anhand der Geometrie dieser Bauteile dann die Oberflächen für die Begrünung aus dem Ausgangsmodell zu extrahieren. Diese Anforderungen wurden in Kapitel 5.1. erläutert.

Weiterhin kann der Planungsprozess durch die visuelle Programmierung automatisiert werden. Entspricht das Ausgangsmodell den vorher genannten Rahmenbedingungen, können die Eingabedaten anhand einer linearen Abfolge von Strukturen bearbeitet werden. Das in dieser Diplomarbeit erarbeitete Skript kann verschiedene Szenarien simulieren und mehrere Begrünungsvarianten vergleichen. Laut einem Beschluss der Stadt Wien [29] ist die Begrünung von Gebäude ab einer Höhe von 7,5 Meter zukünftig notwendig. Die Begrünungsfläche muss bei Neubauten 20 Prozent der Gebäudefassade betragen. In diesem Zusammenhang kann die Simulation dazu verwendet werden, um die verpflichtende Planung der Fassadenbegrünung durchzuführen oder um verschiedene Studien durchzuführen.

Schlussfolgerung

7.2. Herausforderungen

Eine grundsätzliche Herausforderung liegt im Verknüpfen der Herstellerdaten und der Kostenrichtwerte mit den BIM-Objekten. Ein in Entwicklung befindlicher Lösungsansatz für eine standardisierte Eigenschaften-Datenbank im Bauwesen ist das freeBIM-Projekt. Angenommen die BIM-Objekte werden in dieser Datenbank eingepflegt, könnten Planer*innen die aktuellen Informationen jederzeit im Projekt synchronisieren. Diese Daten würden dann die Ergebnisse beeinflussen.

7.3. Ausblick/ Weiterführende Schritte

Die in dieser Arbeit untersuchte Entwicklung unterliegt einigen Begrenzungen, die im Folgendem erläutert werden.

Erweiterung der BIM Objekte

In dieser Diplomarbeit wurden fünf Fassadenbegrünungssysteme untersucht und jeweils ein Prototyp in Form von BIM-Objekten für die verschiedenen Systeme wurde erstellt. Neue BIM-Objekte können auf eine ähnlichen Art und Weise erstellt und erweitert werden. Auf die richtige Klassifizierung und Namensgebung ist zu achten, wie in Kapitel 4.2.1 detailliert beschrieben.

BIM-Objekte können zukünftig auch für die ergänzenden Materialien, das Zubehör oder Unterkonstruktion der Begrünungssystemen erstellt werden. Folgende Bestandteile sind damit gemeint: Bewässerungsschläuche, Vlies-Materialien, Randprofile an den Gebäudeecken oder an den Öffnungen oder Profile für Brandschutzbauteile.

BIM-Objekte für die Unterkonstruktion der Begrünungssysteme, die verwendet werden können, werden von Hersteller*Innen der Stahlindustrie zur Verfügung gestellt.[30] Trotzdem können diese zukünftig ausgesucht und in der Projektvorlage eingefügt werden. Unterkonstruktionssysteme können dem Planungswerkzeug hinzugefügt werden. Dazu gehören auch die notwendigen Parameter für die Kalkulationen.

Zentrale Datenbank der BIM-Objekte

Kosten-Richtwerte können insbesondere in früheren Phasen die Entscheidungsfindung beeinflussen. Weitere wichtige Informationen wie Ausschreibungsunterlagen und Information für die Bau- und Betriebsphase bestimmen auch die Auswahl der eingesetzten Produkte. Daher sollten diese den Planer*innen von Anfang an zur Verfügung gestellt werden. Die Informationen sollten nicht zerstreut in Produktdatenblätter zu finden sein, sondern in einer öffentlichen, online-zugänglichen Datenbank. In dieser Datenbank sollten die Daten aktuell gehalten und Erfahrungswerte weitergepflegt werden. Das freeBIM-Projekt [13] sollte daher weiterentwickelt und auch für Begrünungssysteme implementiert werden.

Simulation erweitern

Das in dieser Arbeit entwickelte Simulations-Skript begrenzt sich auf Gebäude mit einfacher Form und ohne zusätzliche Bauteile, wie Balkone, Terrassen oder Loggien. Freiform-Flächen der Fassade werden bisher nicht unterstützt.

Weitere Gestaltungsregel der Begrünung von Fassaden, wie in Abbildung 83 sind dem Skript hinzuzufügen. Die bekannten Brandschutzregeln wurden bisher nicht als weiterführende Regeln implementiert. Alle diese Situationen können erweitert und entsprechend der vorhandenen Richtlinien miteinbezogen werden.

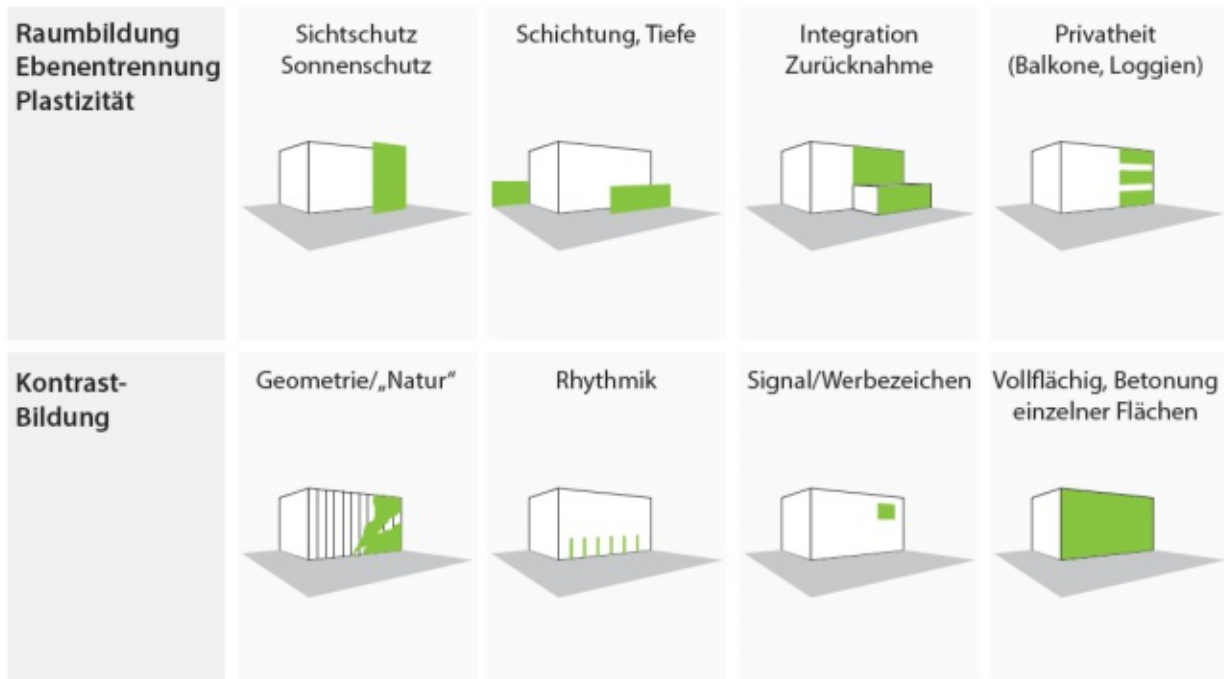


Abbildung 83 Anwendungskriterien Gebäude [24]

Automatisierung Unterkonstruktion

Darüber hinaus kann die Erstellung der Unterkonstruktion für die Fassadenbegrünungssysteme automatisiert werden.

Die Unterkonstruktion stellt die Verbindung zwischen dem Begrünungssystem und der Außenwand dar. Die Unterkonstruktion für die Begrünung ist ein wesentlicher Faktor bei der Berechnung der Kosten für die Begrünungsanlage. Je detaillierter die Unterkonstruktion modelliert wird, desto genauer wird die Kosten-Kalkulation.

Die gleichen Felder, die für die Platzierung der Begrünung in Kapitel 5.3 verwendet wurden, können auch zur Platzierung der Unterkonstruktion dienen. Zu diesem Zweck müssen die konstruktiven Informationen über das System in den Eigenschaften der BIM-Objekte hinterlegt werden. Der Abstand zwischen der Wandoberfläche und dem Begrünungssystem, die hinterlüftete Schicht, als auch die Abstände zwischen den Konstruktionsprofilen und zwischen den Konsolen müssen als Eingabeparameter zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin können die Oberflächen der Felder mittels Linien und die Linien mittels Punkten unterteilt werden. Entlang der Linien können Konstruktionsprofile und anhand der Punkte können die Konsolen platziert werden.

Schlussfolgerung

Automatisierung Wasserleitung

Ein weiterer Schritt ist die Automatisierung der Haustechnik-Anlage für die Begrünungssysteme. Die Bewässerungsschläuche können modelliert werden. Die Planung der Wasserleitungen entlang der Fassade unterliegt gewissen Regeln, die in einem Skript implementiert werden können. Dafür müssten die BIM-Objekte der Begrünungssysteme mit gebäudetechnischen Anschlüssen versehen werden. Das Skript könnte diese Anschlüsse identifizieren und an die Wasserleitung anbinden.

Simulation direkt in REVIT / ArchiCAD / RHINO

Grundsätzlich ist Grasshopper ein Add-in von RHINO. Die Entwicklungen der letzten Jahre ermöglichten die Ausführung von Grasshopper oder RHINO auch in den Softwareprogrammen REVIT und ArchiCAD. Das in dieser Diplomarbeit erarbeitete Skript funktioniert nur in RHINO, da das GeometryGymIFC Add-In derzeit nur RHINO unterstützt. Wenn zukünftig das Plug-In in den anderen Programme integriert wird, muss das Skript nur mehr geringfügig adaptiert werden, um mit den jeweiligen Programmen interagieren zu können.

Planung komplett in RHINO

Derzeit existiert eine direkte Verbindung von RHINO zu Twinmotion. Die in Kapitel 5.3 generierten Felder für die Begrünung könnten auch aus RHINO direkt in Twinmotion exportiert werden und so eine vereinfachte Darstellung in Virtual Reality erzeugen ohne die Begrünung in REVIT erstellen zu müssen.

Abschießend ist festzuhalten, dass es durch die Integration von Fassadenbegrünungen in die BIM-Planung möglich ist, Aufwände in den Planungsabläufen zu minimieren, ein hohe Anzahl an Varianten zu erforschen und dadurch die Entscheidungsfindung zu erleichtern. Das in dieser Arbeit entwickelte Planungswerkzeug funktioniert jedoch nur für eine eingeschränkte Anzahl von Anwendungsfällen. Die BIM-Objekte und das Simulations-Skript zeigen ein großes Ausbaupotenzial und müssen mehreren Testdurchläufen unterstellt werden. Die Werkzeuge wurden modular aufgebaut, sodass die Möglichkeit besteht die Begrünungsregel auszubauen. Zukünftig ist eine Datenbank mit bestehenden best-practice Beispielen von Begrünungsprojekte notwendig, um die Programmierung der Fassadenbegrünung zu verfeinern.

8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic und Univ. Ass. Dipl.-Ing. Jutta Hollands. Durch Ihre engagierte und kompetente Betreuung konnte ich diese Arbeit zielgerichtet und motiviert umsetzen.

Ein herzliches Dankeschön richte ich an meine Familie und Freunde, die mich im ganzen Studium und bis zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit unterstützt haben.

9. Anmerkungen

Die Erwähnung verschiedener Softwareprogramme bedeutet nicht die Unterstützung jeglicher Programme. Die Software-Namen sind Marken der jeweiligen Firmen.

10. Literaturverzeichnis

- [1] M. Hiermer, *Revit Familien - Editor: Content-Erstellung leicht gemacht*. mitp, Verlag-Gruppe Hüthig, Jehle, Rehm, 2012.
- [2] J. Bradley, "What are UVW coordinates?," 2017. <https://www.lynda.com/3ds-Max-tutorials/What-UVW-coordinates/630579/679826-4.html> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [3] Autodesk Inc., "dynamoprimer.com," *Autodesk*, 2018. <https://www.dynamoprimer.com/de> (Datum des Zugriffs 30. März 2020).
- [4] F. E. Giesecke, *Technical Drawing with Engineering Graphics, Fifteenth Edition*. Peachpit Press, 2016.
- [5] Artaker, "BIM-SYMPOSIUM Programm Wien 23. März 2017," 2017. <https://bimsymposium.at/programm-2017/> (Datum des Zugriffs 30. März 2020).
- [6] F. Kraus, *Leitfaden Fassadenbegrünung. MA 22 - Wiener Umweltschutzabteilung - Bereich Räumliche Entwicklung*, 2019.
- [7] J. Blankenbach and R. Becker, "BIM und die Digitalisierung im Bauwesen," in *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, pp. 777–797.
- [8] N. Pfoser, "Fassade und Pflanze," p. 362, 2016.
- [9] C. van Treeck, R. Elixmann, K. Rudat, S. Hiller, S. Herkel, and M. Berger, "Gebäude.Technik.Digital.," in *Gebäude.Technik.Digital.*, 2016.
- [10] BuildingSMART, "Industry Foundation Classes (IFC) - buildingSMART International," 2018. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [11] Autodesk Inc., "Berichtsparameter, Autodesk Knowledge Network," 2020. <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/DEU/Revit-Model/files/GUID-DBC31A77-813A-47E0-8EFA-B6D821F75EDB-htm.html> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [12] Data Design System AS, "Open BIM und IFC," 2020. <https://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [13] freeBIM, "freeBim," 2020. https://www.freebim.at/Beschreibung_2016 (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [14] A. Kern, *Informationsmanagement im BIM-Prozess von der Planung, über den Baubetrieb bis zum Facility Management*. Wien, 2019.
- [15] M. Hiermer, *Autodesk Revit Architecture 2019 Grundlagen*, no. ISBN 9783746963525. Hamburg: Hamburg : tredition, 2018.
- [16] Autodesk Inc., "About Schedules | Revit Products 2019 | Autodesk Knowledge Network," *Autodesk.Help*, 2019.

- <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-DocumentPresent/files/GUID-F50D6FF4-859E-43A2-A2F6-81C84A1BA0EB-htm.html> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [17] Autodesk Inc., “About Masses and Mass Families | Revit Products 2018 | Autodesk Knowledge Network,” *Autodesk.Help*, 2020.
<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Revit-Model/files/GUID-61205D04-381D-4E8D-B971-6ED44126FBDB-htm.html> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [18] D. Rutten, “Rhino Features.” 2020, Datum des Zugriffs: 01. Mai 2020.
[Online]. Available: <https://www.rhino3d.com/6/features>.
- [19] J. Mirtschin, “BIM – GeometryGym,” 2020.
<https://geometrygym.wordpress.com/bim/#ifcrhino> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [20] A. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, “Building Information Modeling: Why? What? How?,” in *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*, A. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 1–24.
- [21] S. Davidson, “Grasshopper Algorithmic Modeling for Rhino,” *Add-ons for Grasshopper*, 2015. <https://www.grasshopper3d.com/> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [22] Inc. Microsoft, “What is Power BI | Microsoft Power BI,” 2020.
<https://powerbi.microsoft.com/en-us/what-is-power-bi/> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [23] Inc. Epic Games, “Twinmotion - Unreal Engine,” 2020.
<https://www.unrealengine.com/en-US/twinmotion> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).
- [24] N. Pfoser, *Gebäude, Begrünung, Energie : Potenziale und Wechselwirkungen*, 1. Ausg., no. ISBN 9783940122469. Bonn: Bonn : FLL, 2014.
- [25] J. Hollands and A. Korjenic, “Ansätze zur ökonomischen Bewertung vertikaler Begrünungssysteme,” *Bauphysik*, vol. 41, no. 1, pp. 38–54, Feb. 2019, doi: 10.1002/bapi.201800033.
- [26] M. Manso and J. Castro-Gomes, “Green wall systems: A review of their characteristics,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 863–871, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.203.
- [27] J. Hollands, *Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassadengebundener Begrünungssysteme*. Wien, 2017.

Literaturverzeichnis

- [28] baubook GmbH, "Oekoindex – Leitfaden," 2020.
<https://www.baubook.at/oekoindex/> (Datum des Zugriffs 27. Feb. 2020).
- [29] PID Presse- und Informationsdienst der Stadt Wien, "70. Wiener Gemeinderat (15) am 25.06.2020."
https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20200625_OTS0002/70-wiener-gemeinderat-15 (Datum des Zugriffs 01. Juli 2020).
- [30] Hilti GmbH, "HILTI BIM-OBJEKTE," 2020.
<https://www.hilti.de/content/hilti/E3/DE/de/engineering/software/all-software-solutions/bim-cad.html> (Datum des Zugriffs 30. März 2020).
- [31] Robert McNeel & Associates, "Rhino.Inside®.Revit," 2020.
<https://www.rhino3d.com/inside/revit/beta/> (Datum des Zugriffs 01. Mai 2020).

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 UV-Koordinaten einer Oberfläche [3].....	3
Abbildung 2 Extrusion [4].....	3
Abbildung 3 Sweep [4].....	3
Abbildung 4 Abschlusspräsentation Entwurf Blumenpavillon aus Holz (Juli 2013).....	4
Abbildung 5 IFC Struktur [11].....	8
Abbildung 6 Vergleich traditioneller Ablauf der Bauplanung vs. BIM Projektablauf [12].....	9
Abbildung 7 Struktur ASI-Merkmalserver [13].....	10
Abbildung 8 Eigenschaften der Klasse Fassade im ASI-Merkmalserver[13].....	11
Abbildung 9 REVIT Projektbrowser.....	12
Abbildung 10 Anwendungskriterien Gebäude [24].....	17
Abbildung 11 Software-Konstellation für Planung der Fassadenbegrünung in BIM.....	18
Abbildung 12 Konzeptionierung der Simulation von Fassadenbegrünungen.....	19
Abbildung 13 Software Konstellation für die Simulation von Fassadenbegrünungen.....	20
Abbildung 14 Symbole und Skala der Vergleichskriterien von Fassadenbegrünungen [6]....	21
Abbildung 15 berücksichtigte Aspekte des Lebenszyklus eines Gebäudes.....	22
Abbildung 16 Untersuchte Begrünungssysteme [25].....	23
Abbildung 17 Mischsystem.....	23
Abbildung 18 Vorausgesetzte Informationen zur Erstellung von BIM Begrünungsobjekten.	24
Abbildung 19 Klassifizierung der Begrünung [26].....	26
Abbildung 20 Gliederung der BIM-Objekte für Begrünung.....	26
Abbildung 21 Zusammensetzung Begrünungs-Fassadenwand in REVIT.....	31
Abbildung 22 BIM-Objekte für Fassadenbegrünungssysteme.....	34
Abbildung 23 BIM-Objekt Bodengebundene Begrünung ohne Kletterhilfe: Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung.....	36
Abbildung 24 BIM-Objekt Bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe: Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung.....	36
Abbildung 25 BIM-Objekt Kassettensystem: Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung.....	37
Abbildung 26 BIM-Objekt Trogsystem: Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung.....	37
Abbildung 27 BIM-Objekt Mischsystem: Frontal-/ Schnitt-/ Grundrissdarstellung.....	38
Abbildung 28 Inhalt der BIM-Vorlage in REVIT.....	39
Abbildung 29 Auflistung Entwurfsoptionen in REVIT.....	40
Abbildung 30 Sichtbarkeits-Einstellungen für die 3D-Kontrollansicht in REVIT.....	41
Abbildung 31 Filter-Einstellungen für die 3D-Kontrollansicht in REVIT.....	41
Abbildung 32 Filterregel für innenliegende Türen in REVIT.....	41
Abbildung 33 Einfügen von Parametern in eine Bauteilliste in REVIT.....	43
Abbildung 34 Kombinierte Parameter in Bauteillisten in REVIT.....	44
Abbildung 35 Berechnete Parameter in Bauteillisten in REVIT.....	44
Abbildung 36 Filter der Bauteillisten in REVIT.....	45
Abbildung 37 Sortierung/Gruppierung der Bauteillisten in REVIT.....	45
Abbildung 38 Befehl „Entwurfsoptionen“ in REVIT.....	46
Abbildung 39 freeBIM Add-In Oberfläche.....	48
Abbildung 40 Mit freeBIM-Add-In ausgefüllte Typparameter der Fassadenwand.....	49
Abbildung 41 BIM Modell Bestandteile.....	50
Abbildung 42 Erforderliche Parameter für die Elemente im Ausgangsmodell.....	51
Abbildung 43 3D Kontroll-Ansicht in REVIT.....	52
Abbildung 44 3D-Ansicht in SOLIBRI MODEL CHECKER.....	52
Abbildung 45 Überblick Ablauf Simulations-Skript.....	53
Abbildung 46 Schritte Simulationsalgorithmus.....	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 47 Zwischenergebnisse Simulationsskript.....	55
Abbildung 48 Auswahl Begrünungskombinationen.....	56
Abbildung 49 Einlesen von Daten aus der IFC-Datei in GH.....	61
Abbildung 50 Auswahl Geschossbereiche in GH.....	61
Abbildung 51 Herausfiltern von Elementen der Klasse IfcWall in GH.....	62
Abbildung 52 Filtern von Außenwänden in GH.....	63
Abbildung 53 Filtern von tragenden Wänden in GH.....	63
Abbildung 54 Filtern der äußeren Oberflächen der Wände in GH.....	64
Abbildung 55 Vorbereitung für die Unterteilung der Oberflächen in GH.....	65
Abbildung 56 Unterteilung der Oberflächen.....	66
Abbildung 57 Zusammenführen der benachbarten Oberflächen.....	67
Abbildung 58 Sortierung der Felder nach der Ausrichtung.....	67
Abbildung 59 Sortierung der Felder nach der Fläche.....	68
Abbildung 60 Sortierung der Felder nach Höhenlage.....	68
Abbildung 61 Lageplan Karl-Metschl-Gasse 17.....	71
Abbildung 62 Ausgangsmodell Ansicht Süd-West.....	72
Abbildung 63 Ausgangsmodell Ansicht Süd-Ost.....	72
Abbildung 64 Auswahl Begrünungskombinationen.....	73
Abbildung 65 bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe – 10% Begrünungsfläche.....	74
Abbildung 66 bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe – 20% Begrünungsfläche.....	74
Abbildung 67 Trogsystem – 10% Begrünungsfläche.....	75
Abbildung 68 Trogsystem – 20% Begrünungsfläche.....	75
Abbildung 69 Mischsystem – 10% Begrünungsfläche.....	76
Abbildung 70 Mischsystem – 20% Begrünungsfläche.....	76
Abbildung 71 Kassettensystem – 10% Begrünungsfläche.....	77
Abbildung 72 Kassettensystem – 20% Begrünungsfläche.....	77
Abbildung 73 Datenvisualisierung Preisentwicklung Begrünungssysteme.....	79
Abbildung 74 Datenvisualisierung Option 1 – 10% Begrünungsfläche.....	80
Abbildung 75 Datenvisualisierung Option 2 – 20% Begrünungsfläche.....	81
Abbildung 76 Datenvisualisierung Bodengebundene Begrünung mit Kletterhilfe.....	82
Abbildung 77 Datenvisualisierung Kassettensystem.....	83
Abbildung 78 Datenvisualisierung Trogsystem.....	84
Abbildung 79 Datenvisualisierung Mischsystem.....	85
Abbildung 80 Visualisierung in Twinmotion: Kassettensystem – 20% Begrünungsfläche....	86
Abbildung 81 Visualisierung in Twinmotion: bodengeb. Begrünung mit Kletterhilfe – 20% Begrünungsfläche.....	87
Abbildung 82 Visualisierung in Twinmotion: bodengeb. Begrünung mit Kletterhilfe – 20% Begrünungsfläche.....	88
Abbildung 83 Anwendungskriterien Gebäude [24].....	93

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Modellkategorien in REVIT.....	13
Tabelle 2 Verwendete Software Versionen.....	16
Tabelle 3 Klassifizierung Begrünungssysteme mit zugehörigen Bezeichnungen [8].....	25
Tabelle 4 Namensgebung BIM-Objekte für Begrünung.....	27
Tabelle 5 Parameter für die Klassifizierung und Gliederung	27
Tabelle 6 Materialparameter für die BIM-Objekte.....	29
Tabelle 7 Parameter für Vergleichskriterien.....	29
Tabelle 8 Kostenparameter	29
Tabelle 9 Kosten-Richtwerte für die Berechnung der Fassadenbegrünungssysteme.....	30
Tabelle 10 Fassadenwand-Einstellungen für bodengebundene Begrünung in REVIT.....	32
Tabelle 11 Fassadenwand-Einstellungen für fassadengebundene Begrünung in REVIT	33
Tabelle 12 Unterkategorien der BIM-Objekte	35
Tabelle 13 Auszug Ausschreibung Aluminium-Trogssystem	48
Tabelle 14 Auszug Berechnungstabelle.....	78
Tabelle 15 Trogssystem – Mengenermittlung Material: Aluminium.....	89
Tabelle 16 Trogssystem – Mengenermittlung Material: Substrat	89
Tabelle 17 Ergebnis der Ausschreibungspositionen für das Trogssystem	90
Tabelle 18 freeBIM Parameter für die Planungsphasen [13].....	102
Tabelle 19 freeBIM Parameter für die Kostenermittlungsphase [13].....	103
Tabelle 20 freeBIM Parameter für das Facility Management [13].....	104
Tabelle 21 freeBIM Parameter die Rückbauphase [13]	104
Tabelle 22 Parameterliste Pset_CurtainWallCommon IFC4 [10].....	105
Tabelle 23 Parameterliste Pset_PlateCommon [10].....	105
Tabelle 24 Parameterliste Pset_MemberCommon IFC4 [10].....	106

13. Anhang

13.1. Parameterlisten freeBIM-Merkmalserver

Tabelle 18 freeBIM Parameter für die Planungsphasen [13]

Phasen-Code	Phasen-Name	fbim Name	Beschreibung
1.1	Projektbeginn	fbim_description	Beschreibung - Optionale Beschreibung
1.1	Projektbeginn	fbim_identifier	Bezeichnung
1.1	Projektbeginn	fbim_globalID	Globalld - Globally unique identifier
1.1	Projektbeginn	fbim_optionalNameAttribute	Name - Optionaler Name
1.1	Projektbeginn	fbim_reference	Referenz Klassifizierungssystem
1.2	Machbarkeitsstudie	fbim_isexternal	Außen gelegenes Element
1.3	Projektbeschreibung	fbim_width	Breite.
1.3	Projektbeschreibung	fbim_height	Höhe
1.3	Projektbeschreibung	fbim_length	Länge
1.3	Projektbeschreibung	fbim_clearDistanceToGround_floor	Lichter Abstand zu Boden
1.3	Projektbeschreibung	fbim_clearDistanceToCeiling	Lichter Abstand zu Decke
2.1	Basis Modell	fbim_buildingCompartment	Bauabschnitt
2.1	Basis Modell	fbim_grossSideAreaCurtainWall	Bruttofläche Fassade
2.1	Basis Modell	fbim_widthCurtainWall	Dicke Fassade
2.1	Basis Modell	fbim_floor	Geschoss
2.1	Basis Modell	fbim_heightCurtainWall	Höhe Fassade
2.1	Basis Modell	fbim_lengthOfCurtainWall	Länge Fassade
2.1	Basis Modell	fbim_netAreaCurtainWall	Nettofläche Fassade
2.1	Basis Modell	fbim_statusOfElement	Status - Status bzw. Phase des Bauteils
2.2	Vorentwurf	fbim_firerating	Feuerwiderstandsklasse
2.2	Vorentwurf	fbim_specificationOfsunProtection	Position Sonnenschutz
2.3	Entwurf	fbim_surfaceSpreadOfFlame	Brandverhalten
2.3	Entwurf	fbim_soundReductionClass	Schallschutzklasse
2.3	Entwurf	fbim_typeOfSunProtection	Typ Sonnenschutz

Tabelle 19 freeBIM Parameter für die Kostenermittlungsphase [13]

Phasen -Code	Phasen -Name	fbim Name	Beschreibung
2.6	Kostenermittlungsgrundlagen	fbim_constructionSchedule	Bauzeitplan - 4D
2.6		fbim_manufacturer	Hersteller - Angaben zum Hersteller
2.6		fbim_lb_id	LB-ID - Angabe zur Version der verwendeten Leistungsbeschreibung, bspw. LB_HB020 oder LB_HT010 (ÖNORM A 2063:2015 - 4.2 Kenndaten)
2.6		fbim_lb_entries	LB-Lücken - Ausschreiberlücken und Stichwortlücken müssen beim Erstellen des LV ausgefüllt werden. Texte der Bieterlücken werden nicht im Datenbestand des Entwurfs-LV und des Ausschreibungs-LV ausgegeben. Im Kostenschätzungs-LV können Texte der Bieterlücken ausgegeben werden. In den anderen Datenbeständen sind Bieterlücken auszugeben.
2.6		fbim_lb_Itemtype	LB-Positionsart - Art der Position.
2.6		fbim_lv_factor	LV-Aufschlagnachlass - Zuschlag/Abschlag zum jew. Preis auf LV-Basis
2.6		fbim_lv_code	LV-Code - Beschreibung des Leistungsverzeichnisses
2.6		fbim_dateOfEstimate	LV-Datum-Kostenanschlag - Datum der Kostenschätzung
2.6		fbim_lv_estimatedCost PerItem	LV-EP Kostenanschlag - 5D: Kostenanschlag auf Positionsebene
2.6		fbim_lv_origin	LV-Herkunft_Position - Bei Vorbemerkungen und Positionen ist zu kennzeichnen, ob der Text aus einer LB (ohne Angabe), einer Ergänzungs-LB („+“) übernommen oder frei formuliert („Z“) wurde.
2.6		fbim_full_description	LV-Langtext - Langtext der Leistungsposition
2.6		fbim_lv_materialdefinition	LV-Materialkennwerte - 6D: Materialkennwerte als Ausschreibungsgrundlage. Ausschreiberlücke
2.6		fbim_lv_quantity	LV-Menge - 5D: Menge der Position bei ungebundenen Positionen
2.6		fbim_lv_comment	LV-Notiz - Kommentar zur näheren Beschreibung der Leistungsposition
2.6		fbim_lv_billOfQuantity Number	LV-Positionsnummer - Angabe der LV-Positionsnummer
2.6		fbim_lv_shortDescription	LV-Stichwort - Kurztext der Leistungsposition
2.6		fbim_lv_essentialItem	LV-Wesentliche Position - Wesentliche Position nach A2063
2.6		fbim_ID_projectElement Library	PEK-ID - Zuordnung Projektelementkatalog

Anhang

Tabelle 20 freeBIM Parameter für das Facility Management [13]

Phasen-Code	Phasen-Name	fbim Name	Beschreibung
5.0	Nutzung	fbim_organisationUnitID	Computer Aided Facility Management (CAFM) Organisationseinheit - ID - Nutzerorganisation - Identifikation
5.1	Betrieb	fbim_dateOfCommissioning	Inbetriebnahmedatum - Datum der erstmaligen Nutzung
5.1	Betrieb	fbim_inventoryNumber	Inventarnummer - ein Code, der den Bestand/das Bauteil kennzeichnet
5.1	Betrieb	fbim_leasing	Leasing - Information: Leasing ja oder nein
5.1	Betrieb	fbim_rentalInformation	Miete - Information: Miete ja oder nein
5.1	Betrieb	fbim_unitUtilisation	Nutzungseinheit
5.1	Betrieb	fbim_organisationUnitEmployeeName	Organisationseinheit - MA - Name - Mitarbeiter Organisationseinheit - Name
5.1	Betrieb	fbim_organisationUnitEmployeeFunction	Organisationseinheit - MA Funktion - Mitarbeiter Organisationseinheit - Funktion
5.1	Betrieb	fbim_administrationUnit	Verwaltungseinheit - ID Verwaltungseinheit, Mieter, Kostenstelle udgl.
5.2	Wartung	fbim_serviceDay	Service Tag - Service: Wochentag und Datum
5.2	Wartung	fbim_maintenanceCompany	Wartungsfirma - Firma, die die Wartung durchführt
5.2	Wartung	fbim_maintenanceIntervals	Wartungsintervalle - Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wartungen
5.2	Wartung	fbim_maintenanceContractNumber	Wartungsvertragsnummer - Information für Wartung: Vertragsnummer

Tabelle 21 freeBIM Parameter die Rückbauphase [13]

Phasen-Code	Phasen-Name	fbim Name	Beschreibung
6.2	Demontage	fbim_disposalMethod	Entsorgungsart - Art und Weise der Entsorgung
6.2	Demontage	fbim_wasteDisposalCosts	Entsorgungskosten - anfallende Kosten für die Entsorgung

13.2. Parameterlisten/ Pset_Common

Tabelle 22 Parameterliste Pset_CurtainWallCommon IFC4 [10]

IFC-Parameter Name	Beschreibung
Reference	Reference ID for this specified type in this project (e.g. type 'A-1'), Also referred to as "construction type". It should be provided as an alternative to the name of the "object type", if the software does not support object types.
Status	Status of the element, predominately used in renovation or retrofitting projects. The status can be assigned to as "New" - element designed as new addition, "Existing" - element exists and remains, "Demolish" - element existed but is to be demolished, "Temporary" - element will exists only temporary (like a temporary support structure).
AcousticRating	Acoustic rating for this object. It is provided according to the national building code. It indicates the sound transmission resistance of this object by an index ratio (instead of providing full sound absorbtion values).
FireRating	Fire rating given according to the national fire safety classification.
Combustible	Indication whether the object is made from combustible material (TRUE) or not (FALSE).
SurfaceSpreadOfFlame	Indication on how the flames spread around the surface, It is given according to the national building code that governs the fire behaviour for materials.
ThermalTransmittance	Thermal transmittance coefficient (U-Value) of a material. Here the total thermal transmittance coefficient through the wall (including all materials).
IsExternal	Indication whether the element is designed for use in the exterior (TRUE) or not (FALSE). If (TRUE) it is an external element and faces the outside of the building.

Tabelle 23 Parameterliste Pset_PlateCommon [10]

Name	Beschreibung
Reference	Reference ID for this specified type in this project (e.g. type 'A-1'), Also referred to as "construction type". It should be provided as an alternative to the name of the "object type", if the software does not support object types.
Status	Status of the element, predominately used in renovation or retrofitting projects. The status can be assigned to as "New" - element designed as new addition, "Existing" - element exists and remains, "Demolish" - element existed but is to be demolished, "Temporary" - element will exists only temporary (like a temporary support structure).
IsExternal	Indication whether the element is designed for use in the exterior (TRUE) or not (FALSE). If (TRUE) it is an external element and faces the outside of the building.
LoadBearing	Indicates whether the object is intended to carry loads (TRUE) or not (FALSE).
AcousticRating	Acoustic rating for this object. It is provided according to the national building code. It indicates the sound transmission resistance of this object by an index ratio (instead of providing full sound absorbtion values).
FireRating	Fire rating for this object. It is given according to the national fire safety classification.
ThermalTransmittance	Thermal transmittance coefficient (U-Value) of a material. It applies to the total door construction.

Anhang

Tabelle 24 Parameterliste Pset_MemberCommon IFC4 [10]

IFC-Parameter Name	Beschreibung
Reference	Reference ID for this specified type in this project (e.g. type 'A-1'), Also referred to as "construction type". It should be provided as an alternative to the name of the "object type", if the software does not support object types.
Status	Status of the element, predominately used in renovation or retrofitting projects. The status can be assigned to as "New" - element designed as new addition, "Existing" - element exists and remains, "Demolish" - element existed but is to be demolished, "Temporary" - element will exists only temporary (like a temporary support structure).
Span	Clear span for this object. The shape information is provided in addition to the shape representation and the geometric parameters used within. In cases of inconsistency between the geometric parameters and the shape properties, provided in the attached property, the geometric parameters take precedence.
Slope	Slope angle - relative to horizontal (0.0 degrees). The shape information is provided in addition to the shape representation and the geometric parameters used within. In cases of inconsistency between the geometric parameters and the shape properties, provided in the attached property, the geometric parameters take precedence.
Roll	Rotation against the longitudinal axis - relative to the global Z direction for all members that are non-vertical in regard to the global coordinate system (Profile direction equals global Z is Roll = 0.) The shape information is provided in addition to the shape representation and the geometric parameters used within. In cases of inconsistency between the geometric parameters and the shape properties, provided in the attached property, the geometric parameters take precedence. Note: new property in IFC4.
IsExternal	Indication whether the element is designed for use in the exterior (TRUE) or not (FALSE). If (TRUE) it is an external element and faces the outside of the building.
ThermalTransmittance	Thermal transmittance coefficient (U-Value) of a material. Here the total thermal transmittance coefficient through the member within the direction of the thermal flow (including all materials). Note: new property in IFC4.
LoadBearing	Indicates whether the object is intended to carry loads (TRUE) or not (FALSE).
FireRating	Fire rating for this object. It is given according to the national fire safety classification.

