



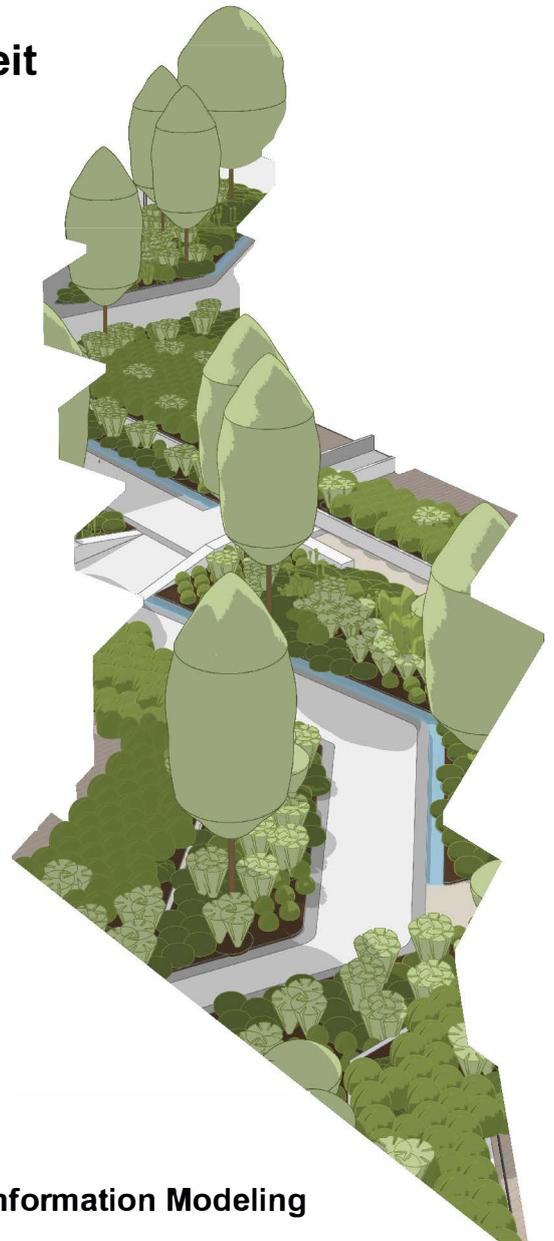
HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Studiengang Freiraumplanung

Bachelorarbeit

Erstprüferin: Dr. Ilona Brückner
Zweitprüfer: Prof. Dr. Jürgen Bouillon
Bearbeiter: Tammo Jochens
Matrikelnummer: 775412
Ausgabedatum: 10.05.2023
Abgabedatum: 30.08.2023



Thema:

Bepflanzungsplanung in Building Information Modeling
—
Erweiterte Revit-Workflows durch visuelle Programmierung

Überarbeitete Version vom 20.11.2023, in Abstimmung mit den Prüfenden

GENDER ERKLÄRUNG

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Sprachformen verzichtet und das generische Maskulinum verwendet. Die gewählte männliche Form bezieht sich zugleich auf weibliche, männliche und diverse Personen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Abschlussarbeit befasst sich mit der Arbeitsweise des Building Information Modeling (BIM) in der Landschaftsarchitektur und der Untersuchung von Modellierungsoptionen für Vegetationsobjekte. Wenngleich Vegetation einen wesentlichen Bestandteil der Planung von Außenanlagen darstellt, gibt es für den allgemeinen Umgang mit Bepflanzung in BIM bisher noch keine ausgereiften Konzepte. Insbesondere die Planung von Staudenflächen wird in digitalen Modellen bisher kaum thematisiert. Es fehlen darüber hinaus allgemeine Workflows, um die Bepflanzungsplanung in den Prozess des Building Information Modeling zu integrieren.

Das vorrangige Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung von exemplarischen Arbeitsabläufen für das Aufgabenfeld der Bepflanzungsplanung innerhalb der 3D-Modellierungssoftware Autodesk Revit. Um die Potentiale des Programms bestmöglich zu nutzen, werden zudem die visuellen Programmierwerkzeuge des Softwaremoduls Dynamo verwendet. Die in Dynamo entwickelten benutzerdefinierten Tools ergänzen die Standardfunktionen von Revit und können für spezifische Modellierungsaufgaben wiederholt zum Einsatz kommen. Zum einen basiert die Modellierung in Revit auf den BIM-Grundlagen der Fertigstellungsgrade und Anwendungsfälle. Zum anderen soll durch das Modell ein automatisiertes Ableiten von Bepflanzungsplänen ermöglicht werden. Eine Analyse spezialisierter Softwareprodukte für die ‚Grüne Branche‘ gibt Aufschluss über die möglichen Funktionen der zu erstellenden Skripte in Dynamo. Der Workflow in Revit wird an einem Beispielprojekt veranschaulicht. Anhand eines Entwurfes für die Außenanlagen des Wohnkomplexes ‚Charlie Living‘ in Berlin wird somit ein vereinfachtes Modell angefertigt. Das Vegetationsmodell wird sukzessive für die Fertigstellungsgrade 100 bis 300 detailliert und enthält Bepflanzungselemente für Bäume, Hecken, Stauden und Pflanzflächen. Die Vegetationselemente werden mit zusätzlichen alphanumerischen Daten versehen und abschließend in einem Bepflanzungsplan dargestellt. Der Modellierungsprozess wird insgesamt mit zehn verschiedenen benutzerdefinierten Dynamo-Tools unterstützt und automatisiert.

Anhand des Modellierungserfolges konnte eine generelle Eignung der BIM-Software Revit für die Anforderungen der Bepflanzungsplanung festgestellt werden. Die dargelegten Workflows in dieser Abschlussarbeit könnten demnach auch für das Modellieren von Vegetationsobjekten in anderen BIM-Projekten mit vergleichbarer Software Anwendung finden.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the methods of Building Information Modeling (BIM) for landscape architecture and the research of modeling options for vegetation objects. Although vegetation is a significant part of site planning there are generally no reasonable concepts for plantings in BIM. So far, especially the use of perennials is rarely discussed in terms of digital building models. Moreover, there is a lack of universal workflows to include the aspects of vegetation planning into the process of Building Information Modeling.

For that purpose, the main objective of this research is the creation of typical workflows for the subject of vegetation planning within the 3D modeling software Autodesk Revit. In addition, the visual programming add-on Dynamo will be used to tap the full potential of the software. The customized tools created with Dynamo expand the standard Revit features and can be commonly used for specific modeling tasks. On the one hand, the modeling process in Revit refers to the basic BIM concepts of Level of Development and BIM Use Cases. On the other hand, the model is supposed to enable the user to derive automated planting plans. An analysis of specialized Software products for the landscaping industry gives an indication of possible features that may get implemented with the intended Dynamo scripts. The Revit workflow is exemplified by a sample project. Therefore, a simplified 3D model will be created based on an open space design of the residential complex 'Charlie Living' in Berlin. The vegetation model becomes gradually detailed for the Levels of Development 100 to 300 and contains planting elements for trees, hedges, perennials, and planting areas. After the addition of alphanumeric data to the objects, the vegetation elements will finally be presented in a planting plan. The modelling process gets reinforced and automated by ten different customized Dynamo tools in total.

By means of the modeling results it is possible to determine that the BIM software Revit is a suitable solution for vegetation planning requirements. According to that, the developed workflows in this thesis could also be used for modeling vegetation objects in other BIM projects with comparable software applications.

INHALTSVERZEICHNIS

Gender Erklärung	I
Zusammenfassung	II
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Thematische Einführung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Struktur der Arbeit	1
2 Grundlagen und Stand der Forschung	3
2.1 Grundlagen von BIM	3
2.1.1 Begriffe	3
2.1.2 Definition	4
2.1.3 Anwendung	4
2.1.4 Detaillierung	6
2.1.5 Austausch	7
2.2 Grundlagen der Bepflanzungsplanung	8
2.2.1 Begriffe	8
2.2.2 Bepflanzungspläne	14
2.3 Funktionen branchenspezifischer BIM-Software	16
2.3.1 ComputerWorks	16
2.3.2 DATAflor	17
2.3.3 Widemann Systeme	17
2.4 Übersicht	18
3 Material und Methode	19
3.1 Untersuchungsgegenstand	19
3.2 Methodische Vorgehensweise	22
3.3 Verwendete Software	22
3.3.1 BIM Autoren Software	23
3.3.2 Visuelle Programmierung	23
3.3.3 Datenmanagement	24
4 Grundbegriffe der Software	25
4.1 Revit Grundbegriffe	25
4.1.1 Kategorien und Familien	25
4.1.2 Parametrisierung	26

4.2	Dynamo Grundbegriffe	27
4.2.1	Blöcke und Drähte	28
4.2.2	Benutzerdefinierte Blöcke und Pakete	28
5	Bepflanzung in BIM	30
5.1	Modellobjekte	30
5.2	Fertigungsgrade	32
5.3	Anwendungsfälle	32
6	Bepflanzungsplanung in BIM	34
6.1	Revit-Familien: Vorbereitende Modellierung	35
6.1.1	Familie für Gehölze	35
6.1.2	Familie für Funktionstypen	38
6.1.3	Familie für Stauden	40
6.2	Revit-Projekt: Bepflanzungsplanung LOD 100-200	42
6.2.1	Pflanz- und Saatflächen	42
6.2.2	Gehölzpflanzung	47
6.3	Revit-Projekt: Bepflanzungsplanung LOD 300-300+	52
6.3.1	Importieren von Pflanzendaten	52
6.3.2	Detaillierung Vegetationsschicht	56
6.4	Revit-Projekt: Ableiten von Plänen	66
6.4.1	Beschriftung und instruktive Planbestandteile	66
6.4.2	Erstellen und Aktualisieren von Legenden	68
7	Diskussion	74
7.1	Bepflanzungsplanung in Revit	74
7.2	Bepflanzungsplanung in Building Information Modeling	78
	Quellenverzeichnis	80
	Anhangsverzeichnis	87

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Struktureller Aufbau der Arbeit	2
Abbildung 2: Anwendungsfälle nach BMVI (BMVI [HRSG.] 2019a)	5
Abbildung 3: Levels of Development (BORRMANN et al. 2021, S. 172)	6
Abbildung 4: Entwicklung des IFC-Standards (BORRMANN et al. 2021, S. 97)	7
Abbildung 5: Planungsprozess und Bepflanzungsplanung (BOUILLON et al. 2013, S. 101)	8
Abbildung 6: Plangrafik von Gehölzen	14
Abbildung 7: Übergänge in der Pflanzung (BORCHARDT 2013, S. 297)	15
Abbildung 8: 3D-Grundlagenmodell für das Projekt ‚Charlie Living‘	19
Abbildung 9: Ausschnitt Entwurfsplan ‚Charlie Living‘, Berlin	20
Abbildung 10: Zion-Nationalpark in Utah, USA (CARLIER 2017)	21
Abbildung 11: Familienkategorien (rechts) sowie Familien und Familientypen (links)	25
Abbildung 12: Benutzeroberfläche in Dynamo	28
Abbildung 13: Beispielskript mit farbigen Gruppen und Namenspräfix	29
Abbildung 14: Beispielschaubild zur Erläuterung des Skriptes in Abbildung 13	29
Abbildung 15: Properties für Gehölze im Anwendungsfall ‚Erstellung von Ausführungsplänen‘ aus (HAVERLAND 2021, Anhang A)	33
Abbildung 16: Ablaufdiagramm zur BIM-basierten Bepflanzungsplanung in Revit	34
Abbildung 17: RPC-Objekt mit 3D-Geometrie	35
Abbildung 18: Baummodelle nach Wuchseigenschaften (unterschiedliche Kronen- und Wurzeltypen)	37
Abbildung 19: Vegetationsobjekte nach Funktionstypen der Stauden	38
Abbildung 20: Wirkung der doppelten Verschachtelung in der Kategorie ‚Bepflanzung‘	39
Abbildung 21: Auswirkungen des Abzugskörpers auf die kalkulierte Staudenanzahl	40
Abbildung 22: Auswirkungen des parametrisierten ‚Reihenbefehls‘	41
Abbildung 23: Mögliche Varianten von ‚Geländevolumenkörpern‘	42
Abbildung 24: Neuer ‚Geländevolumenkörper‘-Typ (links) und gleichnamiger CAD-Layer (rechts)	43
Abbildung 25: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 a)	44
Abbildung 26: Darstellungsoptionen durch ‚Filter‘	45
Abbildung 27: Steuerung der Sichtbarkeit über den verknüpften Globalen Parameter	46
Abbildung 28: Mögliche Pflanzenreihen mit dem ‚Geländer‘-Tool	48

Abbildung 29: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 b)	49
Abbildung 30: Objektauswahl durch Gehölzgruppenliste	50
Abbildung 31: Modellausschnitt LOD 100	51
Abbildung 32: Modellausschnitt LOD 200	51
Abbildung 33: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 c)	53
Abbildung 34: Benutzeroberfläche zum Starten des Algorithmus	53
Abbildung 35: Benutzeroberfläche zum Starten des Algorithmus	54
Abbildung 36: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 d)	55
Abbildung 37: Gehölze LOD 200 und LOD 300	55
Abbildung 38: Übersicht Parametergruppe ‚Stauden_Stammdaten‘	56
Abbildung 39: Dialogfenster Pflanzenauswahl	57
Abbildung 40: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 e)	57
Abbildung 41: Teilelemente für Dach- und Fassadenbegrünung	58
Abbildung 42: Dialogfenster Daten-Import	59
Abbildung 43: Erstellen von Teilelementen aus ‚Geländevolumenkörpern‘	59
Abbildung 44: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 f)	60
Abbildung 45: Pflanzenmateriale ‚_PM‘	60
Abbildung 46: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 g)	61
Abbildung 47: Benutzeroberfläche zum Starten des Algorithmus	61
Abbildung 48: Auswahl ‚Geländevolumenkörper‘ und Pflanzabstand	62
Abbildung 49: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 h)	63
Abbildung 50: Modellausschnitt LOD 300	64
Abbildung 51: Modellausschnitt LOD 300+	64
Abbildung 52: Staudensymbole mit verkürzter Signatur in der Beschriftung	67
Abbildung 53: Dropdownmenü ‚Legendenbauteile‘	70
Abbildung 54: Automatisierte ‚Legendenbauteile‘	71
Abbildung 55: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 i)	71
Abbildung 56: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 j)	72
Abbildung 57: Ausschnitt Legende für Pflanzengruppen (s. Anhang 2)	72
Abbildung 58: Ausschnitt Bepflanzungsplan (s. Anhang 2)	73

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Grundlegende Funktionstypen (vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 75f.)	9
Tabelle 2: Ergänzende Funktionstypen (vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 76f.)	10
Tabelle 3: Darstellung Bepflanzungstypen (vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 82-92)	11
Tabelle 4: Kernaussagen zu BIM und Bepflanzungsplanung	18
Tabelle 5: Kernaussagen zur Branchensoftware mit BIM-Eignung	18
Tabelle 6: Modellierungsziele für Vegetationsobjekte	30
Tabelle 7: Parametrische Abhängigkeiten der Stauden-Familie	41
Tabelle 8: Beschriftungsfelder der erstellten Familien (vereinfachte Parameternamen)	67
Tabelle 9: Parameterwerte der Legendenlisten (vereinfachte Parameternamen)	69
Tabelle 10: Kernaussagen zu BIM und Bepflanzungsplanung	74
Tabelle 11: Kernaussagen zur Branchensoftware mit BIM-Eignung	75

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AIA.....	Auftraggeber-Informationsanforderungen
API.....	Application Programming Interface
AVA.....	Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung
BIM.....	Building Information Modeling
BMVI.....	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
GAEB.....	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
HOAI.....	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC.....	Industry Foundation Classes
LOD.....	Level of Development
LOG.....	Level of Geometry
LOI.....	Level of Information
LOIN.....	Level of Information Need
LV.....	Leistungsverzeichnis
RPC.....	Rich Photorealistic Content
VPL.....	Visual Programming Languages

1 THEMATISCHE EINFÜHRUNG

Der stetige Wandel im Zuge der Digitalisierung hat weitreichende Folgen für die Landschaftsarchitektur und deren Methoden. Wachsende Komplexität der Projekte und zunehmende Leistungsfähigkeit der Technik führen gleichzeitig zu höheren Ansprüchen an die zu leistenden Planungsaufgaben. Building Information Modeling (BIM) als Antwort der Baubranche führte unlängst zu einer Innovation in der Koordinierung unterschiedlicher Fachplanungen und hält seitdem auch Einzug in der Landschaftsarchitektur.

1.1 Problemstellung

Während die BIM-Methode bei konstruktiven Aspekten der Landschaftsarchitektur schon vielfache Anwendung findet, ist der sinnvolle Umgang mit entsprechender Software für die Planung von Gehölz- und insbesondere Staudenpflanzungen noch wenig dokumentiert. Dies wird auch dadurch begründet, dass die Anwendungen, welche einst für die Architektur oder das Ingenieurwesen entwickelt wurden, nahezu ohne spezifische Anpassung für landschaftsarchitektonische Sachverhalte genutzt werden und es ihnen deshalb derzeit noch an Vollständigkeit mangelt. Da die Bepflanzungsplanung indes als elementare Leistung der Landschaftsarchitektur angesehen wird, besteht die Notwendigkeit, diese bestmöglich in den bestehenden Methodenkatalog des Building Information Modeling zu integrieren.

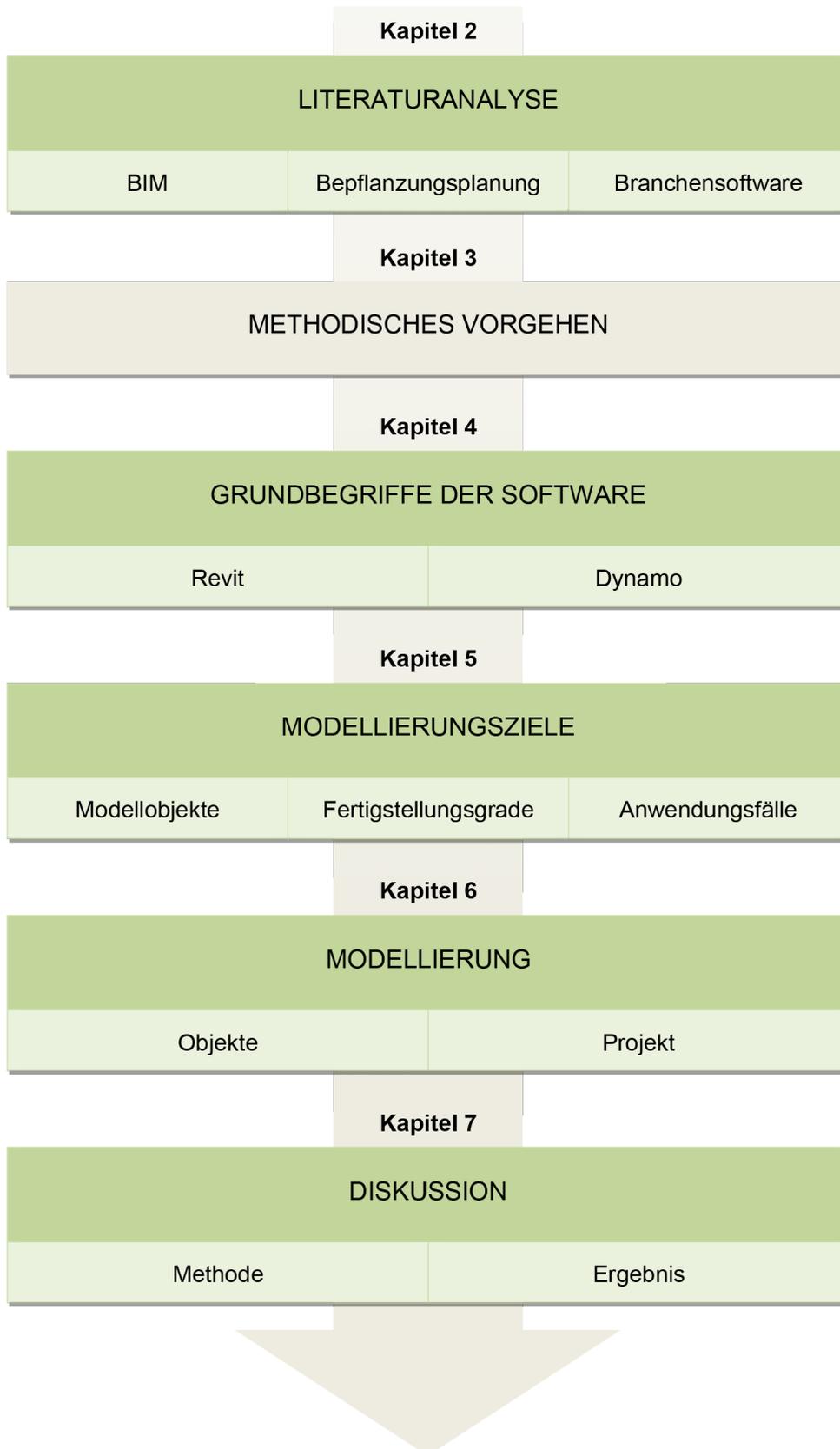
1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit widmet sich daher der Suche nach praktikablen Workflows für die digitale Bepflanzungsplanung in der BIM-Software Autodesk Revit, um Building Information Modeling in der Landschaftsarchitektur künftig noch umfassender zu gestalten. Des Weiteren sollen konkrete Herangehensweisen vermittelt und digitale Werkzeuge an die Hand gegeben werden, die dazu beitragen, herkömmliche Methoden zur Modellierung von Vegetation in Revit zu automatisieren, zu optimieren und zu erweitern. Neben den Standardfunktionen der Anwendung liegt daher ein Schwerpunkt der Arbeit in der Verwendung von visueller Programmierung. Die betreffende Autodesk-Software Dynamo bietet einen direkten Zugriff auf die Funktionen des Application Programming Interface (API) von Revit.

1.3 Struktur der Arbeit

Der strukturelle Aufbau dieser Arbeit basiert auf einem theoretischen Abschnitt zur Erläuterung wesentlicher Zusammenhänge des Building Information Modeling und der Bepflanzungsplanung sowie einem praktischen Abschnitt über die Anwendung der 3D-Modellierungssoftware Autodesk Revit. Abschließend folgt eine reflektierende Diskussion zur Einschätzung und Bewertung der erarbeiteten Inhalte sowie zum methodischen Vorgehen. Die Struktur der Arbeit wird in Abbildung 1 schematisch veranschaulicht.

Abbildung 1: Struktureller Aufbau der Arbeit



2 GRUNDLAGEN UND STAND DER FORSCHUNG

2.1 Grundlagen von BIM

Die Idee des BIM ist älter als ihre Umsetzbarkeit. Das Konzept zur Nutzung intelligenter Computermodelle zur Optimierung von Planungsprozessen im Bauwesen hat seinen Ursprung bereits in den 1970er Jahren (vgl. BORRMANN et al. 2021, S. 5) und steht heute im Ruf einer wegweisenden Veränderung für die Planungsmethode der Branche (s. HAUSKNECHT et al. 2016, S. 11). Dennoch dauert die Einführung von BIM in vielen Fachdisziplinen an. Einerseits weist eine Online-Umfrage aus dem Jahr 2020 darauf hin, dass Building Information Modeling bereits in einem Großteil der deutschen Landschaftsarchitekturbüros thematisiert wird. Gleichzeitig gilt für das Berufsfeld jedoch weiterhin, dass die Potentiale der BIM-Methode im Einzelnen auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden und für viele Abläufe stärkere Standardisierungsmöglichkeiten gefunden werden müssen (s. BRÜCKNER 2020, S. 8f.).

2.1.1 Begriffe

Im Allgemeinen wird das Akronym **BIM** synonym für die Arbeitsweise des **Building Information Modeling** verwendet. Die gebräuchliche Kurzform lässt sich allerdings noch weit aus umfassender interpretieren, wie im BIM-Kompendium von Hausknecht und Liebig dargestellt wird. So kann bei BIM zugleich von einem **Building Information Model** (digitales Bauwerksmodell), von der **BIM-Software** für die Erstellung und Auswertung jener Modelle oder vom **Building Information Management**, d.h. von der strategischen und projektbegleitenden Steuerung der BIM-Prozesse die Rede sein (s. HAUSKNECHT et al. 2016, S. 48). Hierbei handelt es sich um unterschiedliche Bedeutungsebenen, die zwar miteinander in direktem Zusammenhang stehen, jedoch ohne deutliche Abgrenzung voneinander bei der Verwendung des Begriffs zu Unklarheiten führen. So zitiert Autodesk eine Studie von Dodge Data and Analytics:

„BIM wird häufig immer noch als bloße Technologie missverstanden, statt als Methodik, die auch Prozesse und Richtlinien einschließt. Dadurch werden wir dem Potential von BIM nicht gerecht.“ (AUTODESK 2021, S. 2)

Seitens buildingSmart Germany heißt es hierzu, BIM sei keine Software, sondern eine Methodik, die sowohl die Projektsteuerung als auch die Zusammenarbeit aller Baubeteiligten in allen Lebensphasen eines Bauwerks erleichtern solle (s. ABBASPOUR et al. 2021, S. 30). In dieser Arbeit wird der Ausdruck BIM demnach zur Beschreibung der BIM-Methode bzw. der Arbeitsweise des Building Information Modeling verwendet.

2.1.2 Definition

Die BIM-Methode basiert auf der Idee des Building Information Model, einem Bauwerksmodell mit großer Informationstiefe, welches seiner baulichen Umsetzung vorausgeht (vgl. BORRMANN et al. 2018, S. 1475). Dieses digitale Abbild umfasst die dreidimensionale Geometrie der einzelnen Bauwerksbestandteile (s. BORRMANN et al. 2021, S. 4) und ist somit ein objektorientiertes Modell, das nicht nur räumliche Zusammenhänge verdeutlicht, sondern Objektinformationen mehrerer Dimensionen für Akteure und Bauherren bereithält sowie Fehlerquellen erkennt und offenlegt (vgl. HAUSKNECHT et al. 2016, S. 51ff.). Als „Single-Source of Truth“ (ABBASPOUR et al. 2021, S. 30) bildet es die zentrale Grundlage der BIM-Methode (s. ebd.).

„Der Begriff Building Information Modeling beschreibt zum einen den Vorgang zur Erschaffung, Änderung und Verwaltung eines solchen digitalen Bauwerksmodells mithilfe entsprechender Softwarewerkzeuge. Zum anderen wird dieser Begriff jedoch auch verwendet, um damit die Nutzung dieses digitalen Modells über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg zu beschreiben – von der Planung, über die Ausführung bis zur Bewirtschaftung und schließlich zum Rückbau [...]“ (BORRMANN et al. 2021, S. 4)

Hausknecht und Liebig stellen des Weiteren die Rolle des BIM-Modells als gemeinsam genutzte Informationsdatenbank heraus (s. HAUSKNECHT et al. 2016, S. 50). Im BIM-Glossar der deutschsprachigen buildingSmart-Organisation ist in diesem Zusammenhang von einer „zentrischen Bereitstellung von Informationen zur gemeinschaftlichen Nutzung“ (ABBASPOUR et al. 2021, S. 30) die Rede. So kann auf Grundlage vieler miteinander verbundener Fachmodelle eine Kollaboration der Akteure entstehen, welche „über die reine BIM-Insel“ (HAUSKNECHT et al. 2016, S. 50) hinausgeht und eine transparente Kommunikation zwischen den Beteiligten ermöglicht (s. BORRMANN et al. 2021, S. 5). Denn obwohl einzelne Fachplanungsbüros durch den Einsatz spezifischer BIM-Software für disziplinübliche Zwecke bereits eine höhere Effizienz erlangen können, wäre durch eine solche Insellösung keine durchgängige Nutzung der Bauwerksinformationen möglich (s. BORRMANN et al. 2018, S. 1476).

2.1.3 Anwendung

Der BIM-Planungsprozess schafft demnach diverse Möglichkeiten zur Nutzung der geometrischen sowie alphanumerischen Bauwerksdaten. Neben dem automatisierten Ableiten konsistenter 2D-Pläne und -Grafiken dient das digitale Modell unter anderem der Kollisionssprüfung, Visualisierung und Mengenermittlung (s. BORRMANN et al. 2021, S. 6). Die Vielzahl möglicher Anwendungsoptionen macht gleichzeitig eine Aufwand-Nutzen-Analyse seitens des Auftraggebers notwendig (s. BORRMANN et al. 2018, S. 1481), welche dazu dient, „die projektrelevanten BIM-Ziele zu identifizieren“ (ABBASPOUR et al. 2021, S. 33f.). Diese werden innerhalb der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) formuliert, um

vorab festzulegen, welche Zielvorstellungen mit der Umsetzung der BIM-Methode im jeweiligen Projekt verbunden sind. Darauf aufbauend werden Maßnahmen für die Durchsetzung dieser Ziele abgeleitet (s. ebd.). „Die[se] anvisierten BIM-Anwendungsfälle stellen einen sehr wichtigen Ausgangspunkt für die Durchführung eines BIM-Projekts dar und müssen zu Beginn des Projekts definiert werden.“ (BORRMANN et al. 2021, S. 6)

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) orientiert sich hinsichtlich der **Anwendungsfälle** an den Leistungsbildern der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), da die Anwendung von Building Information Modeling keine Veränderung der Planungs- oder Ausführungsleistungen bedeuten sollte, sondern eine Methode darstelle, diese zu erbringen (s. BMVI [HRSG.] 2019a, S. 7). Die definierten Anwendungsfälle in Abbildung 2 bilden daher einen Ansatz, notwendige Planungsleistungen des Infrastrukturbaus und gängige BIM-Praxis unter Berücksichtigung der Leistungsphasen zu vereinen. In ihrer Masterarbeit zum Thema ‚Vegetation im Kontext von Building Information Modeling‘ weist Ramona Haverland darauf hin, dass 19 dieser 20 Anwendungsfälle ebenfalls relevant für die Landschaftsarchitektur sind (s. HAVERLAND 2021, S. 39).

		Leistungsphasen gem. HOAI									
		Planung			Vergabe der Ausführung			Ausführung			
Nr	Anwendungsfälle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Betrieb
Bestandserfassung											
AWF 1	Bestandserfassung										
Planung											
AWF 2	Planungsvariantenuntersuchung										
AWF 3	Visualisierungen										
AWF 4	Bemessung und Nachweisführung										
AWF 5	Koordination der Fachgewerke										
AWF 6	Fortschrittkontrolle der Planung										
AWF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen										
AWF 8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung										
AWF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung										
Genehmigung											
AWF 9	Planungsfreigabe										
Vergabe											
AWF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe										
Ausführungsplanung und Ausführung											
AWF 12	Terminplanung der Ausführung										
AWF 13	Logistikplanung										
AWF 14	Erstellung von Ausführungsplänen										
AWF 15	Baufortschrittkontrolle										
AWF 16	Änderungsmanagement										
AWF 17	Abrechnung von Bauleistungen										
AWF 18	Mängelmanagement										
AWF 19	Bauwerksdokumentation										

Abbildung 2: Anwendungsfälle nach BMVI (BMVI [HRSG.] 2019a)

2.1.4 Detaillierung

Obwohl es keine allgemeingültige Vorgabe für die Informationstiefe digitaler Bauwerksmodelle in Relation zur Projektphase gibt, ist die Detaillierung der einzelnen Modellinhalte ein wesentlicher Faktor in der BIM-Planung. In jedem Fall ist eine Abhängigkeit von den zuvor definierten Anwendungsfällen gegeben, da Geometrie- wie auch Sachdaten in Form, Menge und Qualität vorliegen müssen, wie es der entsprechende Anwendungsfall zum Erreichen des übergeordneten BIM-Ziels verlangt (vgl. BORRMANN et al. 2021, S. 6).

Die Detailschärfe herkömmlicher Planungen ist üblicherweise an den Zeichnungsmaßstab gebunden und kann sich dadurch je nach Ausmaß und Komplexität des Projektes an den Leistungsphasen der HOAI orientieren. Da der Darstellung digitaler Bauwerksmodelle jedoch keine Abstraktion durch Zeichnungsmaßstäbe zu Grunde liegt, hat sich das Prinzip des sogenannten **Level of Development (LOD)** (s. Abb. 3) zur Einschätzung der Reife, Zuverlässigkeit und Informationstiefe etabliert (s. BORRMANN et al. 2021, S. 11).

Dieses Prinzip basiert auf der gleichzeitigen Betrachtung zweier Datentypen. Während sich der Datentyp der Modellgeometrie, genannt **Level of Geometry (LOG)**, noch vergleichsweise einfach mit den verschiedenen Planungsphasen in Bezug bringen lässt, so ist die Formulierung von Anforderungen an den Informationsgehalt alphanumerischer Daten, genannt **Level of Information (LOI)**, abhängig vom jeweiligen BIM-Anwendungsfall und darum kaum zu pauschalisieren (s. HAUSKNECHT et al. 2016, S. 137). Geforderte semantische Modellattribute werden in der Praxis daher projektspezifisch durch den Auftraggeber festgelegt und tabellarisch spezifiziert (s. BORRMANN et al. 2021, S. 170). Vereinfacht ergibt sich für den LOD somit folgende Gleichung: **LOD = LOG + LOI**

Der Level of Development, auch Fertigstellungs- oder Ausarbeitungsgrad genannt, gibt Aufschluss darüber, wie belastbar und genau die vorliegenden Bauwerksdaten sind. Zugleich stellt er ein Regelwerk für den Auftragnehmer dar, das verdeutlicht, welche Daten in einer bestimmten Projektphase im Modell vorliegen müssen. Daher wird der LOD innerhalb der Auftraggeber-Informationen-Anforderungen in Form eines Level of Information Need (LOIN) festgeschrieben. Die dazugehörige DIN EN 17412 soll gewährleisten, dass die Forderung hinsichtlich der Informationslieferungen durch den Auftragnehmer weder unter- noch überschritten werden (s. ABBASPOUR et al. 2021, S. 62f.). Diese Forderung kann ebenfalls das Bereitstellen bestimmter Dokumente umfassen (s. BORRMANN et al. 2021, S. 168).

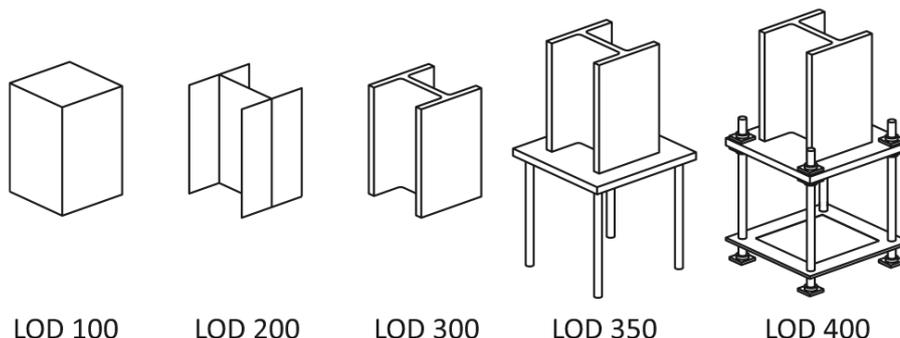


Abbildung 3: Levels of Development (BORRMANN et al. 2021, S. 172)

2.1.5 Austausch

Letztlich bleibt die Frage bestehen, auf welcher formalen Grundlage die modellbasierte Kommunikation der Beteiligten eines BIM-Projektes stattfindet. Durch die Organisation buildingSMART wurde zu diesem Zweck ein herstellernerutrales und länderübergreifendes Austauschformat entwickelt und als eigene ISO-Norm ISO 16739 eingeführt – die **Industry Foundation Classes (IFC)**.

Der Vorteil gegenüber proprietären Austauschformaten liegt für Anwender zunächst in der flächendeckenden Implementierung der Schnittstelle in über 160 Softwareprodukten und der damit einhergehenden Standardisierung (s. BORRMANN et al. 2021, S. 97). Planungs-beteiligte können jene Modellierungsprogramme verwenden, die individuell am besten geeignet sind und die jeweiligen Fachmodelle anschließend im IFC-Format weitergeben (s. HAUSKNECHT et al. 2016, S. 44f.). Seitens öffentlicher Auftraggeber gibt insbesondere die Normierung des Standards IFC 4 in der DIN EN ISO 16739 Anlass für verbindliche Vorgaben beim Austausch digitaler Planungsdaten in Vergabe- und Genehmigungsverfahren. Da die Datenstruktur des Formates darüber hinaus offen zugänglich ist, kann die Lesbarkeit von IFC-Modellen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg gewährleistet werden (s. BORRMANN et al. 2021, S. 97f.).

Ein solches Modell besteht im Wesentlichen aus Objekten, die in einer umfangreichen Klassenstruktur abgebildet werden. Demnach bezeichnet eine **IFC-Klasse** einen bestimmten Objekttyp und ermöglicht Rückschlüsse auf das repräsentierte Bauteil. So verweisen Objekte der Klasse IfcRoof beispielsweise auf Dächer und die der Klasse IfcWall auf Wände (s. ABBASPOUR et al. 2021, S. 79f.). Zugleich können mit dem IFC-Modell auch semantische Attribute eines Objektes übergeben werden. Diese sogenannten **Properties** können mit dem Objekt verbunden sein und werden unter Angabe der jeweiligen Bezeichnung sowie des Wertes in einem Eigenschaftensatz bzw. Property Set gruppiert (s. ABBASPOUR et al. 2021, S. 75). Durch die fortlaufenden Erweiterungen des Datenmodells (s. Abb. 4) sind seit IFC 4.3 bereits Klassen für Bauteile des Infrastrukturbereichs inklusive Straßen- und Schienenanlagen sowie Brücken und Tunnel vorhanden (s. BORRMANN et al. 2021, S. 98). In der aktuellen Version IFC 4.3.1.0 finden sich jedoch noch keine Einträge für den Fachbereich der Landschaftsarchitektur unter den definierten Disziplinen des Bauwesens (BUILDINGSMART 2021). Dies legt nahe, dass sich Anwender aus diesem Berufsspektrum derzeit noch mit den vorherrschenden IFC-Klassen des Hochbaus behelfen müssen, um an den BIM-Prozessen teilzuhaben.

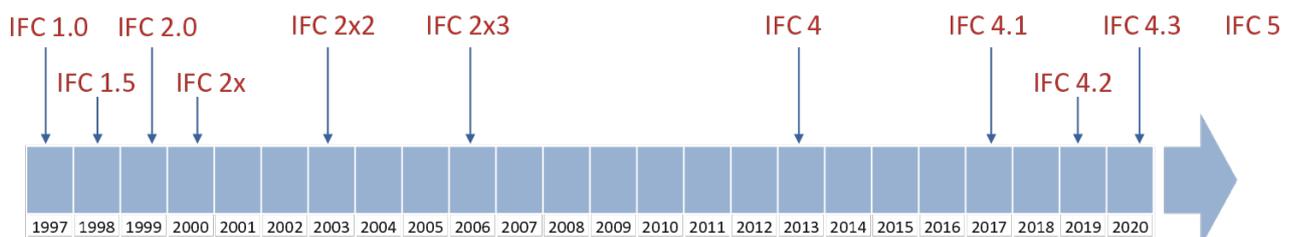


Abbildung 4: Entwicklung des IFC-Standards (BORRMANN et al. 2021, S. 97)

2.2 Grundlagen der Bepflanzungsplanung

Der Begriff Bepflanzungsplanung beschreibt eine Reihe vegetationsbezogener planerischer Leistungen und Entscheidungen, die sich über ein Spektrum verschiedener Leistungsphasen erstrecken können und eine differenzierte Struktur im Planungsprozess abbilden (s. Abb. 5).

„Im Zentrum der Bepflanzungsplanung stehen die Auswahl geeigneter Arten und Sorten sowie deren fachgerechte Kombination und Verteilung auf der Fläche zur Umsetzung des Gestaltungskonzepts bzw. des Entwurfs.“ (BOUILLON et al. 2013, S. 100)

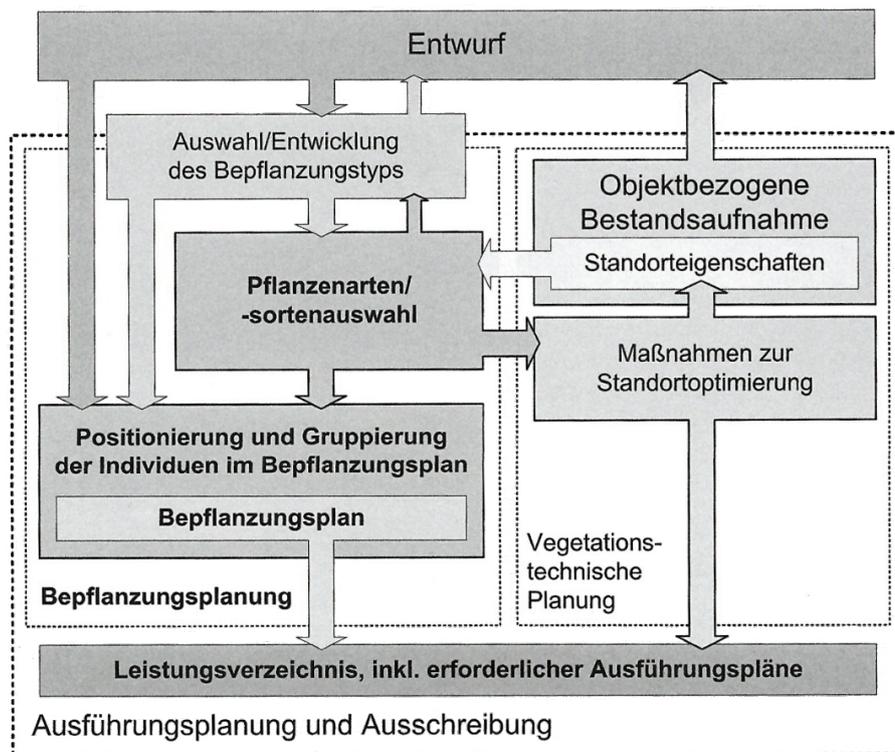


Abbildung 5: Planungsprozess und Bepflanzungsplanung (BOUILLON et al. 2013, S. 101)

2.2.1 Begriffe

In dieser Arbeit steht der generelle Umgang mit Vegetation im BIM-Modell sowie die grafische Darstellung von Pflanzen in abgeleiteten Ausführungsplänen im Vordergrund. Daher beziehen sich die übrigen Kapitel vorwiegend auf die „Positionierung und Gruppierung der Individuen im Bepflanzungsplan“ (s. Abb. 5). Dennoch werden im Folgenden einige theoretische Begriffe der Bepflanzungsplanung definiert, da sie bei der Modellierung in BIM berücksichtigt werden sollen.

Funktionstypen

Die morphologischen und phänologischen Eigenschaften von Pflanzen legen eine spezifische Verwendung innerhalb von Staudenpflanzungen nahe. Diese individuelle Eignung kann für die Bepflanzungsplanung hilfreich sein, um Stauden im Entwurf entsprechend ihres „Verwendungstyps“ (BORCHARDT 2013, S. 208) für die räumliche und zeitliche Gliederung einzusetzen (s. BOUILLON et al. 2013, S. 75). Im ‚Handbuch der Staudenverwendung‘ wird diesbezüglich von **Funktionstypen** gesprochen. Diese Typisierung nach der gestalterischen Funktion unterscheidet zum einen Eigenschaften, die der generellen Strukturierung der Pflanzung dienen (s. Tabelle 1) und zum anderen Querschnittseigenschaften (s. Tabelle 2), die vorwiegend den Aspekt betreffen und erstere je nach Charakter der Pflanzung ergänzen (s. BOUILLON et al. 2013, S. 76). In anderen Quellen zur Bepflanzungsplanung ist diese Definition weniger trennscharf. In seinem Werk ‚Pflanzenverwendung‘ mischt Wolfgang Borchardt die zuvor aufgeführten Typen, was die Vorstellung erschwert, dass dieselbe Pflanze gleichzeitig Leit- wie auch Solitärstaude sein kann. Borchardts Konzept der Verwendungstypen basiert stark auf der „Pflanzidee, die aus Staudenarten Aspektbildner und Leitstauden macht.“ (BORCHARDT 2013, S. 208ff.). Im ‚Handbuch der Staudenverwendung‘ wird dahingehend die Abhängigkeit des Funktionstyps einer Staude von dem gewählten **Bepflanzungstyp** herausgestellt.

Grundlegende Typen

Tabelle 1: Grundlegende Funktionstypen
(vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 75f.)

Gerüststaude	Eigenschaften:	standfest, prägnanter Sprossaufbau oder dauerhafter Blattschmuck
	Pflanzmenge:	zu mehreren
	Funktion:	raumgliedernd
Solitärstaude	Eigenschaften:	meist standfest, langlebig, prägnante Wirkung der Einzelpflanze
	Pflanzmenge:	einzel
	Funktion:	raumgliedernd
Gruppenstaude	Eigenschaften:	oft nicht standfest, toleriert dichte Pflanzung
	Pflanzmenge:	zu mehreren
	Funktion:	Aspekt- und Raumwirkung durch Häufung

Bodendeckstaude	Eigenschaften: Pflanzmenge: Funktion:	niedrig, dichte Bestände bildend zu mehreren Bodenbedeckung
Streupflanze	Eigenschaften: Pflanzmenge: Funktion:	niedrig bis mittelhoch oder kurzlebig, wenig Laub zu mehreren eingestreut aspektbildend, auflockernd
Füllpflanze	Eigenschaften: Pflanzmenge: Funktion:	kurzlebig, wenig konkurrenzstark zu mehreren initiale Bodenbedeckung, Lebendmulch

Ergänzende Typen

Tabelle 2: Ergänzende Funktionstypen
(vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 76f.)

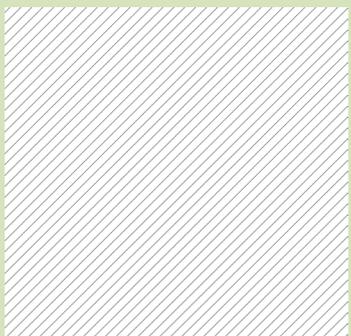
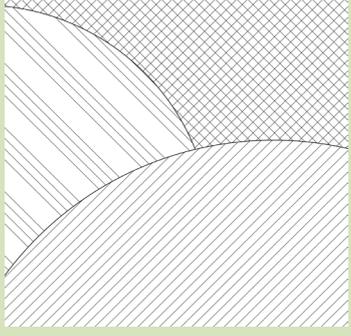
Leitstauden	Eigenschaften: Pflanzmenge: Funktion:	Auffällig in Habitus, Blütenfarbe oder Blütenreichtum einzeln oder zu mehreren geben das ‚Thema‘ vor
Begleitstauden	Eigenschaften: Pflanzmenge: Funktion:	kontrastierend oder unterstützend den Leitstauden zugeordnet einzeln oder zu mehreren führen das ‚Thema‘ fort
Aspektbildner	Eigenschaften: Pflanzmenge: Funktion:	auffällige Blüte oder Herbstfärbung in großen Mengen Temporäre Dominanz der Fläche

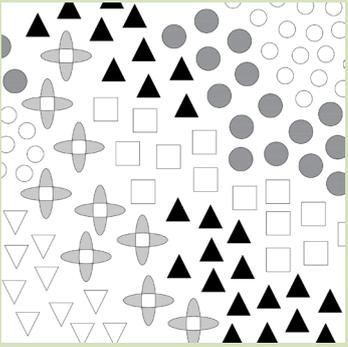
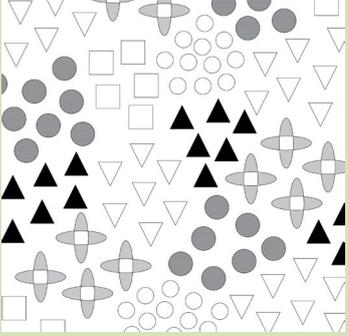
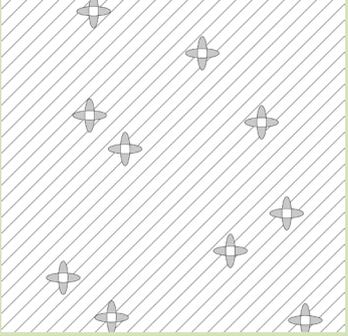
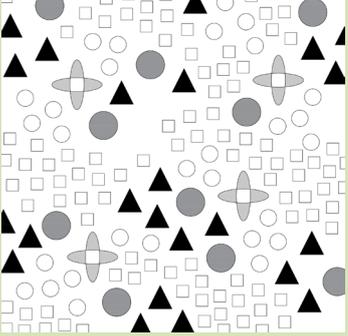
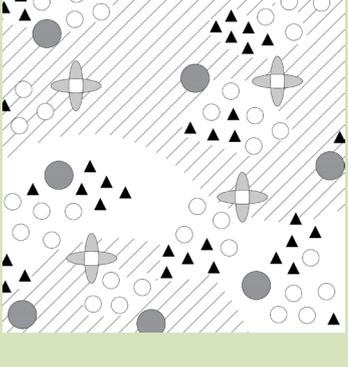
Bepflanzungstypen

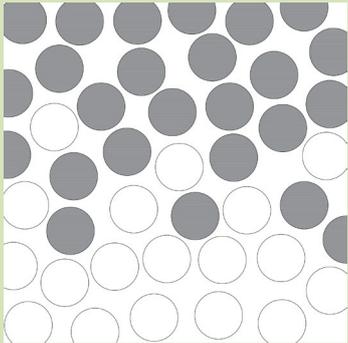
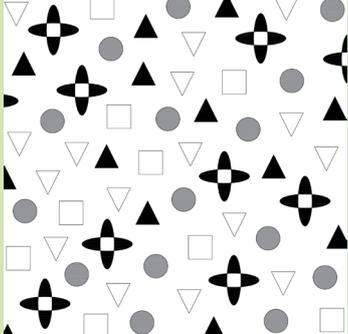
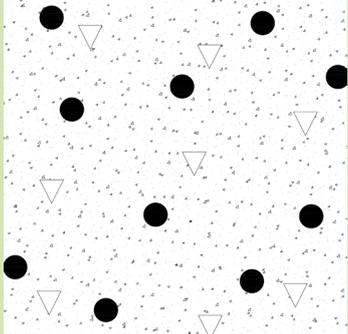
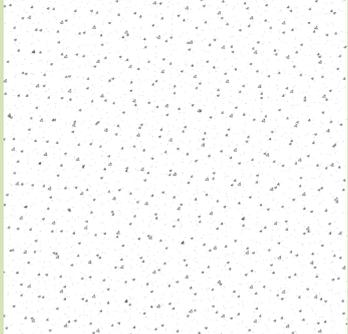
„Es ist jedoch eine Sache, standortgerechte Pflanzen auszuwählen, und eine ganz andere, sie gefällig zu gruppieren“ (CHATTO 1991, S. 7).

Für diese Gruppierung, d.h. die Verteilung und Anordnung verschiedener Arten und Sorten als Solitäre, Tuffs und Gruppen gibt es einige typische Grundmuster – die sogenannten Bepflanzungstypen. Je nach Dauerhaftigkeit des initialen Pflanzbildes können statische und dynamische Bepflanzungstypen unterschieden werden (s. BOUILLON et al. 2013, S. 79). So stellen Borchardts Flächenfigurpflanzungen, also „Pflanzflächen, die [...] eine Gliederung durch definierte Grenzziehungen zwischen art- bzw. sortengleichen Staudengruppen erhalten“ (BORCHARDT 2013, S. 226), erklärtermaßen statische Pflanzungen dar. Dahingegen werden Mischpflanzungen allgemein den dynamischen Bepflanzungstypen zugeordnet. „Prinzip ist das Überleben der Pflanzung, nicht das einzelner Arten oder Individuen.“ (BORCHARDT 2013, S. 235) Wenngleich der Begriff der Bepflanzungstypen in der einschlägigen Literatur nicht einheitlich verwendet wird, bieten die in Tabelle 3 dargestellten Gruppierungsmuster aus dem ‚Handbuch der Staudenverwendung‘ einen beispielhaften Überblick über mögliche Anordnungen in Staudenpflanzungen und deren Dynamik. Abweichungen und Mischungen dieser Typen sind durchaus möglich (s. BOUILLON et al. 2013, S. 80). Norbert Kühn spricht sich diesbezüglich für einen offenen Umgang mit derart ästhetischen Gestaltungsvorgaben aus, zumal das Entwurfsthema dabei berücksichtigt werden müsse (s. KÜHN 2011, S. 118).

Tabelle 3: Darstellung Bepflanzungstypen
(vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 82-92)

Monopflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • ganzjährig attraktiver Einartbestand • Die Auswahl muss räumlich-funktionalen Anforderungen ebenso gerecht werden wie den individuellen Standortbedingungen • Pflegeaufwand abhängig von Standorteignung; keine hohe Pflegequalifikation nötig • Zurückhaltende Wirkung • schwache Dynamik
Blockpflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • großzügige Flächen mit formstarken, gruppentauglichen, ganzjährig attraktiven Arten • Benachbarungen sollten Harmonie oder Kontrast erzeugen • regelmäßige und früh einsetzende Pflege • Wirkung durch klare Flächenkonturen oder -verläufe sowie Flächeneinheitlichkeit • schwache Dynamik

Driftpflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • lange, schwungvolle Pflanzengruppen (Drifts) mit klaren Flächenkonturen • schmale Drifts begünstigen zahlreiche Wechselbeziehungen zu Nachbarn im Vorder- oder Hintergrund • setzt durchdachtes Höhengefüge voraus • mittlerer bis hoher Pflegeaufwand • schwache Dynamik
Mosaikpflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzung aus kleineren Flächenbeständen verschiedener Arten • vielfältige Wechselbeziehungen zu Nachbarn • für verschieden hohe Pflanzungen geeignet • Pflegeaufwand eher hoch; je nach Standort-eignung und Konkurrenzstärke der Arten • schwache Dynamik
Streupflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzung auffälliger Arten in Grundfläche (z.B. aus Bodendeckern oder Gräsern) • besonders Zwiebeln oder aufrechte Strukturpflanzen ohne Ausläuferbildung • zufällig wirkende Verteilung • nach Einzug bleibt das Bild einer Mono- oder Blockpflanzung zurück • starke oder schwache Dynamik möglich
Leitstaudenpflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • kleinteilige Pflanzung typischer Staudenrabatten und Staudenbeete • Auswahl und Verteilung der Arten nach strenger Hierarchie; Leitstauden zuerst • Begleitstauden auf Leitstauden abgestimmt • Höhenstaffelung empfehlenswert • Pflegeaufwand und -qualifikation hoch • schwache Dynamik
Geselligkeitsstufenpflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • nach HANSEN und STAHL • vorwiegend Wildstauden • Pflanzenanordnung orientiert sich an arteigener Geselligkeit (Prognose der natürlichen Staudenentwicklung) • Hierarchie nach Leitstaudenprinzip möglich • geringer Pflegeaufwand; hohe Qualifikation • starke Dynamik

Verlaufspflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • gegenseitige Durchdringung von Pflanzengruppen (zwei oder mehr Arten) • unklare Flächenkontur; auch für Übergänge anderer Bepflanzungstypen anwendbar • natürliche Wirkung • Pflegeaufwand ist abhängig von zulässigem Grad der Dynamik und der Pflanzenauswahl • starke oder schwache Dynamik möglich
Mischpflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • Artenauswahl und -anteile sind vorgegeben • besonders Aspektbildner und Wintersteher • Pflanzen mit Ausläufern vernetzen die Arten • i.d.R. zufällige Verteilung auf der Fläche (verschiedene Varianten möglich) • Ziel ist die Selbstregulation; geringer Pflegeaufwand bei guter Entwicklung • starke Dynamik
Aussaart mit Pflanzung		<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzung konkurrenzstarker Arten oder Zwiebeln in ausgesäte Grundfläche • Variante: Robinson`sche Wiese; Pflanzung in Bestandswiese • höherer Ordnungsgrad als reine Aussaat • besondere Eignung für öffentliches Grün • geringer Pflegeaufwand nach Etablierung • starke Dynamik
Aussaart		<ul style="list-style-type: none"> • großflächige Begrünung mittels Saatgut oder Mahdgutübertragung • besondere Eignung für öffentliches Grün, Ausgleichsflächen und Blumenwiesen • Variante: Vorkultivierte Staudenmatten • eher geringer Pflegeaufwand; Maß der Pflege bestimmt Erscheinungsbild • gute Bodenvorbereitung nötig • starke Dynamik

2.2.2 Bepflanzungspläne

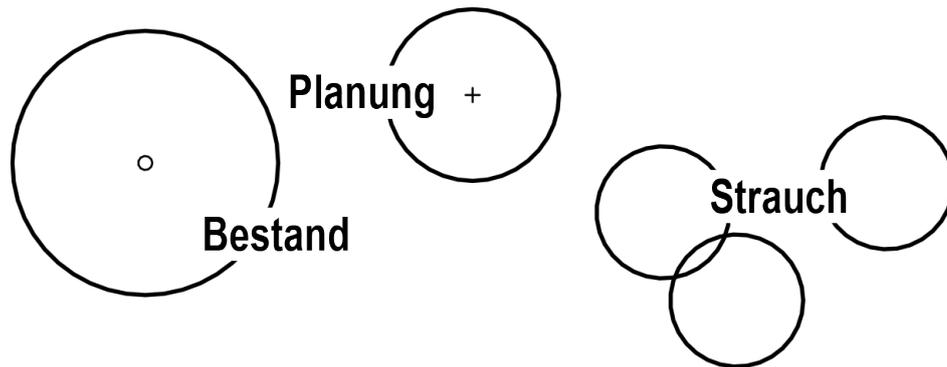


Abbildung 6: Plangrafik von Gehölzen

Als Ausführungsplan für die reibungslose Umsetzung der Entwurfsidee einer Pflanzung auf der Baustelle erfüllt ein Bepflanzungsplan die generellen Anforderungen an Technische Pläne für Außenanlagen (s. BOUILLON et al. 2013, S. 107). Die Grundlage hierfür bildet die betreffende DIN EN ISO 11 091 (s. BOUILLON et al. 2013, S. 111). Mit Ausnahme der darin normierten Darstellung von Gehölzen (s. Abb. 6) gibt es für die Abbildung von Pflanzen in Bepflanzungsplänen keine verbindlichen Vorgaben (s. BORCHARDT 2013, S. 290). Im Vordergrund steht die schnelle und unmissverständliche Lesbarkeit, insbesondere da ausreichende Pflanzenkenntnisse bei Mitarbeitern ausführender Unternehmen nicht immer gegeben sind (vgl. BENDFELDT et al. 2002, S. 193). Je nach Komplexität und Größe des Plans kann die geeignete Plangrafik variieren. Die in Tabelle 3 gezeigten Planausschnitte sind inspiriert durch Abbildungen im ‚Handbuch der Staudenverwendung‘ und veranschaulichen die mögliche Plandarstellung einer Pflanzung in Abhängigkeit vom Bepflanzungstyp. Daraus resultieren zwei wesentliche Darstellungsoptionen für Pflanzen:

Pflanzensymbole

Ist eine Pflanzung einzelner Exemplare oder kleiner Gruppen mit jeweils gleicher Stückzahl vorgesehen, empfiehlt sich im Plan die Verwendung von Symbolen (s. BOUILLON et al. 2013, S. 114). Die Gestaltung dieser Signaturen kann hierarchisch erfolgen, sodass Leitstauden, deren Platzierung nach den Gehölzen die höchste Priorität einnimmt, die markantesten Symbole erhalten (s. BENDFELDT et al. 2002, S. 197f.). Ergänzend dazu kann ein Symbol auf Pflanzenkategorie oder -besonderheiten bezugnehmen und „Blattformen oder Gräserhorste abstrahieren“ (BORCHARDT 2013, S. 295). Andererseits ist bei der Symbolverwendung auch Zurückhaltung geboten. „Symbole mit Abkürzung der botanischen Namen in einem Kreis sind oft besser als grafische ‚Kunstwerke‘.“ (BOUILLON et al. 2013, S. 113) Im Fokus steht die deutliche Unterscheidbarkeit (s. ebd.). Pflanzensymbole sind immer maßstabsgetreu im Plan zu platzieren und im selben Maßstab in einer Legende abzubilden. Optional kann es hilfreich sein, sich bei der Skalierung nach der vorgesehenen Stückzahl pro Quadratmeter zu richten (vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 114).

Pflanzenflächen

Bei einem vorwiegend flächigen Einsatz einer Art ist die Abbildung einzelner Individuen weniger sinnvoll als das Anlegen schraffierter oder anderweitig gekennzeichnete Flächen (s. BOUILLON et al. 2013, S. 114). Auf diese Weise kann ein angemessener Aufwand in der Planerstellung beibehalten werden (vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 107). Die Kombination von Flächen und Symbolen kann darüber hinaus Rückschlüsse auf die Funktionstypen zulassen. So können vereinzelte Leitstaudensymbole von flächig angelegten Begleitstauden kontrastiert werden (s. BENDFELDT et al. 2002, S. 195). Typische Funktionstypen für eine flächendeckende Darstellung sind Bodendeck- oder Gruppenstauden. Auch bei Bodendeckergehölzen kann auf die Einzeldarstellung verzichtet werden (s. BENDFELDT et al. 2002, S. 193). Die Sichtbarkeit der Flächenkonturen ist dabei häufig Ausdruck für die Unterscheidung von „weichen“ und „harten“ Übergängen zwischen den Arten (s. Abb. 7). Dadurch sollte jedoch nicht die Eindeutigkeit des Plans beeinträchtigt werden. Insofern ist außerdem der gleichzeitige Verzicht auf Flächenkontur und -schraffur auszuschließen. Konturen können als freie oder geometrische Formen gezeichnet werden (s. BOUILLON et al. 2013, S. 114), wenngleich Borchardt dazu rät, spitze Winkel in der Flächenfigur zu vermeiden, da diese nur schwer ‚auszupflanzen‘ seien (s. BORCHARDT 2013, S. 298).

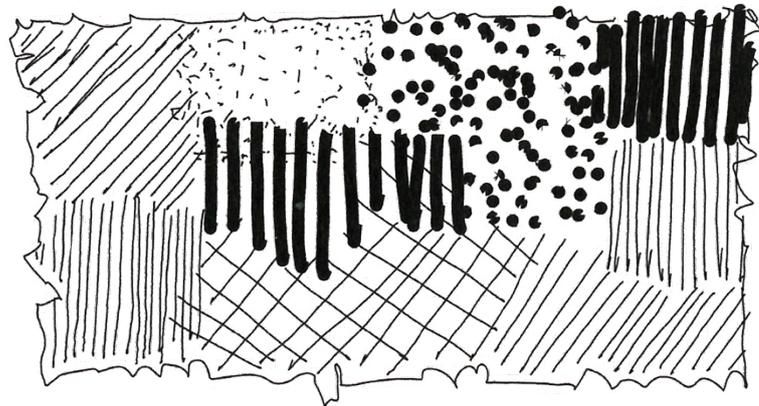


Abbildung 7: Übergänge in der Pflanzung
(BORCHARDT 2013, S. 297)

Insbesondere das Anlegen von Flächen und Schraffuren macht eine **Beschriftung** der Pflanzen notwendig. Dabei ist je nach Maßstab eine Direktbeschriftung mit botanischen Namen oder nachvollziehbaren Kürzeln angeraten (s. BOUILLON et al. 2013, S. 114). In jedem Fall ist die Anzahl der Individuen pro Teilfläche zu vermerken. Die wahlweise Ergänzung der artspezifischen Pflanzdichte (Stückzahl pro Quadratmeter) bietet zusätzliche Orientierung (s. BENDFELDT et al. 2002, S. 200). Zur Ermittlung der Pflanzdichte gibt es unterschiedliche Methoden. Neben Kalkulationen auf Basis des individuellen Pflanzabstandes (s. JA. SCHULDT BAUMSCHULEN o. J.) gibt es auch komplexere fachliche Ansätze, welche die Eigenschaften der Pflanze und planerische Intentionen stärker in den Fokus rücken (vgl. BOUILLON et al. 2013, S. 106f.).

Der obligatorischen **Legende** sind verwendete Symbole, Angaben zur Gesamtanzahl einer Art, deren botanische und deutsche Bezeichnung, Pflanzqualität, sowie Pflanzanweisungen und etwaige Bemerkungen beizufügen. Gemäß der Funktion des Bepflanzungsplans als Grundlage für Leistungsverzeichnisse (LV) hat sich eine Sortierung nach LV-Positionen bewährt. Stattdessen können jedoch auch andere Systeme zur Gliederung verwendet werden (s. BOUILLON et al. 2013, S. 111). Des Weiteren enthält ein Bepflanzungsplan alle die für Ausführungspläne üblichen **instruktiven Bestandteile**. Neben Plankopf, Maßstab und Nordpfeil hat sich zum Einmessen der Pflanzen und zur Übertragung der Bepflanzungsgrenzen vor allem ein Maßraster durchgesetzt (s. BOUILLON et al. 2013, S. 110).

2.3 Funktionen branchenspezifischer BIM-Software

In diesem Kapitel soll eine Brücke zwischen den Begriffen Building Information Modeling und Bepflanzungsplanung geschlagen werden. Dazu werden bekannte BIM-Programme mit Branchenbezug aufgelistet und anhand der Literatur hinsichtlich ihrer Funktionen für die digitale Bepflanzungsplanung untersucht.

Die Entwicklung spezialisierter CAD-Anwendungen für die ‚grüne Branche‘ ermöglichte bereits optimierte Verfahren zur Planung von Pflanzungen, bevor eine BIM-Eignung der Programme für die Anwender relevant wurde. 2016 befragten Stefan Temmen und Kai von Luckwald im Rahmen einer Masterarbeit drei jener Software-Entwickler zur Einführung und Nutzung von BIM in der Landschaftsarchitektur. Alle Interviewpartner gaben demnach an, die betreffenden Produkte seien in unterschiedlichem Maße bereits für die BIM-Nutzung geeignet (vgl. TEMMEN et al. 2016, S. 123-133). Im Folgenden werden die Hersteller und deren aktuelle Produkte erneut im Hinblick auf die besondere Eignung für Aufgaben der Bepflanzungsplanung thematisiert.

2.3.1 ComputerWorks

Das Unternehmen ComputerWorks erfüllte mit der universellen CAD/BIM-Software Vectorworks schon zu diesem Zeitpunkt die erforderlichen Bedingungen für eine interdisziplinäre Bearbeitung von digitalen Bauwerksmodellen und den verlustfreien Datenexport über ein neutrales Austauschformat (vgl. TEMMEN et al. 2016, S. 127f.). Der Branchenbezug ergibt sich durch die Wahl einer spezifischen Arbeitsumgebung, sodass Landschaftsplanern und -architekten im Programm ‚Vectorworks Landschaft‘ diverse individualisierte Funktionen zur Auswahl stehen (s. MORBACH 2020, S. 174f.).

Für die Bepflanzungsplanung sind im Besonderen die vielfältigen **Werkzeuge zum Platzieren von Vegetationsobjekten** von Bedeutung (vgl. TEMMEN et al. 2016, S. 218). Vectorworks verfügt über eine umfassende **Symbol-Bibliothek**, deren 3D-Pflanzenobjekte für die Modellierung eingesetzt werden können (s. MORBACH 2020, S. 285). Darüber hinaus lassen sich erstellte Elemente mittels **semantischer Informationen** attribuieren, welche händisch oder wahlweise durch **verknüpfte Datenbanken** festgelegt werden können (s. MORBACH 2020, S. 280). Als Datenquelle kann beispielsweise der Sortimentskatalog der Baumschule Bruns genutzt werden (s. TEMMEN et al. 2016, S. 220). Die gleichsame Eignung der

Software für herkömmliche 2D-Zeichnungen wie auch für 3D-Modellierungen kann sich wegen der vielschichtigen Layer- und Klassenstruktur für den Nutzer als anspruchsvoll erweisen (s. MORBACH 2020, S. 294f.), bietet jedoch zugleich viele Optionen der Gestaltung von Entwurfsplänen.

2.3.2 DATAflor

Mit den beiden CAD-Programmen GREENXPERT und LANDXPERT bietet DATAflor sowohl Unternehmen des Garten- und Landschaftsbaus wie auch Planungsbüros zwei zugeschnittene Softwarelösungen für die Bewältigung von Planungsaufgaben in 2D- und 3D-Zeichnungen. Hierbei nutzt das Unternehmen die Anwendung AutoCAD als Kern und erweitert diese um eine Auswahl branchenspezifischer Werkzeuge.

Neben Funktionen für das Erstellen von Solitären und Pflanzflächen sowie deren Verwaltung durch den sogenannten „Pflanzen-Manager“ (TEM MEN et al. 2016, S. 225) liegt der Schwerpunkt des DATAflor-Systems vorrangig in der ergänzenden Nutzung weiterer Softwarebausteine. Die interne **Visualisierungssoftware** GRÜNSTUDIO 3D sowie eine dynamische Anbindung an die externen Programme Photoshop und SketchUp bieten vielfältige Möglichkeiten für die Darstellung und Nachbearbeitung von Plangrafiken. Zugleich verfügen die Anwendungen über eine Datenschnittstelle nach dem ‚Gemeinsamen Ausschuss Elektronik im Bauwesen‘ (**GAEB**) für die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA). In Kombination mit einer **automatisierten Mengenermittlung** lassen sich dadurch Kostenberechnungen und Leistungsverzeichnisse erstellen (s. MORBACH 2020, S. 307). Stefan Temmen und Kai von Luckwald dokumentieren außerdem das **Ableiten automatisierter Legenden und Blütezeitkalender** in der Software GREENXPERT (s. TEM MEN et al. 2016, S. 232f.). Als „BIM-Komplettlösung für die Landschaftsarchitektur“ (DATAFLOR o. J.) vertreibt das Unternehmen darüber hinaus das Programm BIMXPERT, in welchem die bewährten hauseigenen Softwarebausteine, wie der Pflanzen-Manager, in eine vollfunktionsfähige BIM-Anwendung implementiert wurden (vgl. ebd.).

2.3.3 Widemann Systeme

Ähnlich zum Programm BIMXPERT nutzt die Branchensoftware WS LANDCAD des Herstellers Widemann Systeme unter anderem die CAD-Software BricsCAD als Kern. Alternativ kann LANDCAD ebenfalls auf Basis von AutoCAD betrieben werden.

Unter den diversen Modulpaketen, welche an die hauptsächlichen Einsatzbereiche der Software angelehnt sind, findet sich auch ein Modul mit Funktionen für die Pflanzplanung. Dieses bietet erweiterte Optionen zum Anlegen von Flächenpflanzungen und Pflanzschemata, die mit den zuvor thematisierten Applikationen von ComputerWorks und DATAflor vergleichbar sind. LANDCAD verfügt über wesentliche Verknüpfungen zu Pflanzenkatalogen und externen Datenbanken sowie über GAEB- und Grafik-Schnittstellen. Neben einer umfangreichen Symbolbibliothek bietet die Applikation eine **automatische Verwaltung von Pflanzenlisten** (vgl. WIDEMANN SYSTEME GMBH o. J.). Diese können als Grundlage für Angebote oder Bestelllisten dienen (s. BOUILLON et al. 2013, S. 114).

2.4 Übersicht

In den beiden nachfolgenden Abbildungen werden die wesentlichen Begriffe des Grundlagenkapitels zusammengefasst. Einerseits werden inhaltliche Standards und Anforderungen aufgelistet, die beim Erstellen eines BIM-Modells oder einer Bepflanzungsplanung berücksichtigt werden müssen (s. Tabelle 4). Andererseits werden übliche Software-Funktionen benannt, welche für den digitalen Umgang mit Bepflanzung von Vorteil sind (s. Tabelle 5).

Tabelle 4: Kernaussagen zu BIM und Bepflanzungsplanung

INHALTE	
Building Information Modeling	Bepflanzungsplanung
<ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsfälle • Fertigstellungsgrade (Level of Development) <ul style="list-style-type: none"> ○ Level of Geometry ○ Level of Information • IFC <ul style="list-style-type: none"> ○ IFC-Klassen ○ Properties 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionstypen • Bepflanzungstypen • Bepflanzungspläne <ul style="list-style-type: none"> ○ Pflanzensymbole ○ Pflanzenflächen ○ Beschriftung ○ Legenden ○ Instruktive Planbestandteile

Tabelle 5: Kernaussagen zur Branchensoftware mit BIM-Eignung

FUNKTIONEN	
<ul style="list-style-type: none"> • Symbol-Bibliothek • Platzierungswerkzeuge • Verknüpfung von Attributen • Nutzung externer Datenbanken • Automatisierte Pflanzenlisten 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Mengenermittlung • GAEB-Schnittstelle • Automatisierte Legenden • Automatisierte Blütezeitkalender • Visualisierungsoptionen

3 MATERIAL UND METHODE

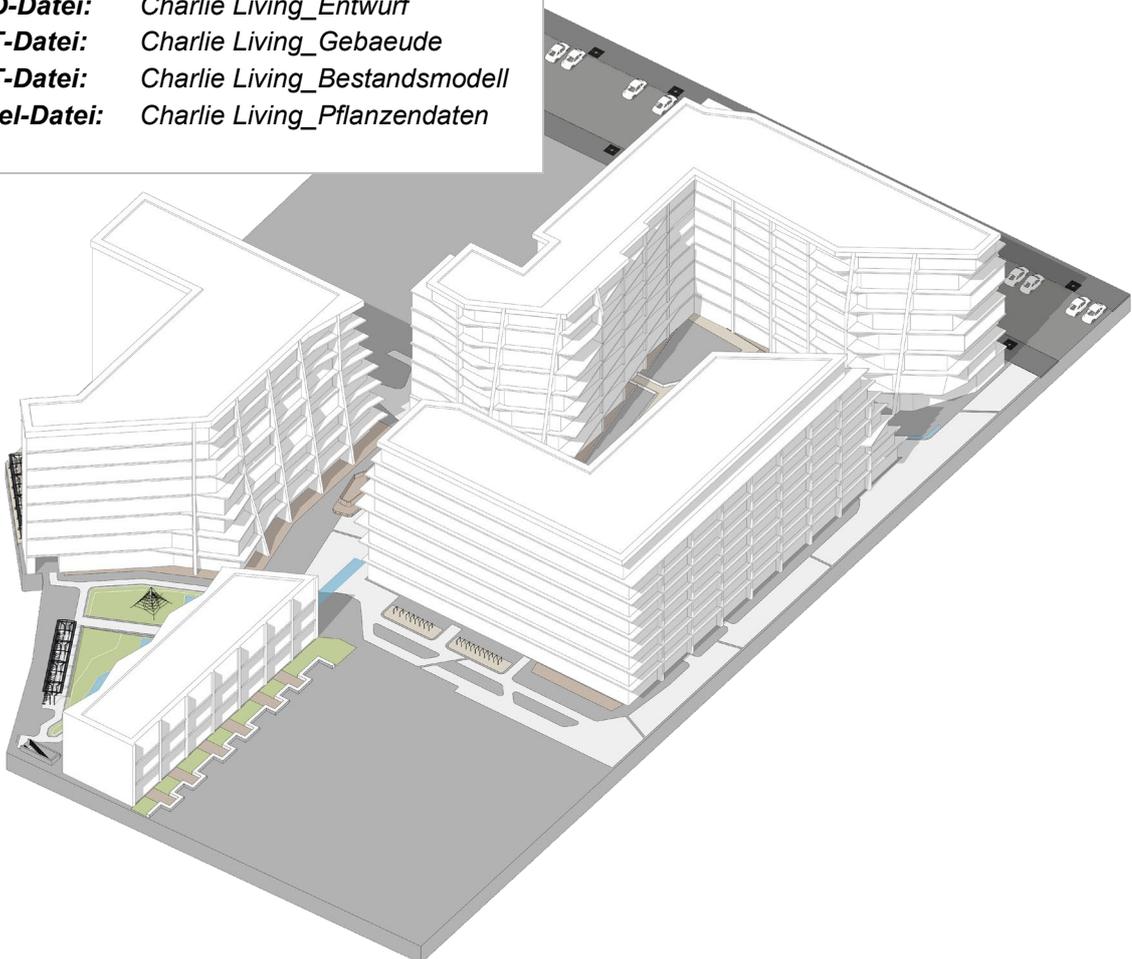
Im Anschluss an die Analyse der theoretischen Grundlagen werden im weiteren Verlauf der Untersuchungsgegenstand und das methodische Vorgehen in dieser Arbeit erläutert sowie eine Übersicht der zu verwendenden Software verfasst.

3.1 Untersuchungsgegenstand

Die digitale Umsetzung von Bepflanzungsplanungen und deren Implementierung in die BIM-Methode werden exemplarisch anhand einer studentischen Projektarbeit zum Neubau des Wohnkomplexes ‚Charlie Living‘ in Berlin thematisiert. Für die Außenanlagen wurde ein landschaftsarchitektonischer Entwurf erarbeitet, welcher im südlichen Projektgebiet (s. Abb. 9) um einen detaillierten Bepflanzungsplan ergänzt wurde. Im Rahmen dieser Arbeit wurde auf Basis der realisierten Architektur des Planungsbüros GRAFT und der eigenen Überlegungen zur Gestaltung des Außenbereichs ein 3D-Modell angefertigt (s. Abb. 8). Es dient als Ausgangspunkt für **die parametrische Modellierung von Vegetationselementen in der BIM-Software Autodesk Revit unter Einsatz von visueller Programmierung**. Folgende Projektgrundlagen liegen dieser Arbeit bei:

PDF-Datei:	<i>Charlie Living_Entwurf</i>
CAD-Datei:	<i>Charlie Living_Entwurf</i>
RVT-Datei:	<i>Charlie Living_Gebaeude</i>
RVT-Datei:	<i>Charlie Living_Bestandsmodell</i>
Excel-Datei:	<i>Charlie Living_Pflanzendaten</i>

Abbildung 8: 3D-Grundlagenmodell für das Projekt ‚Charlie Living‘



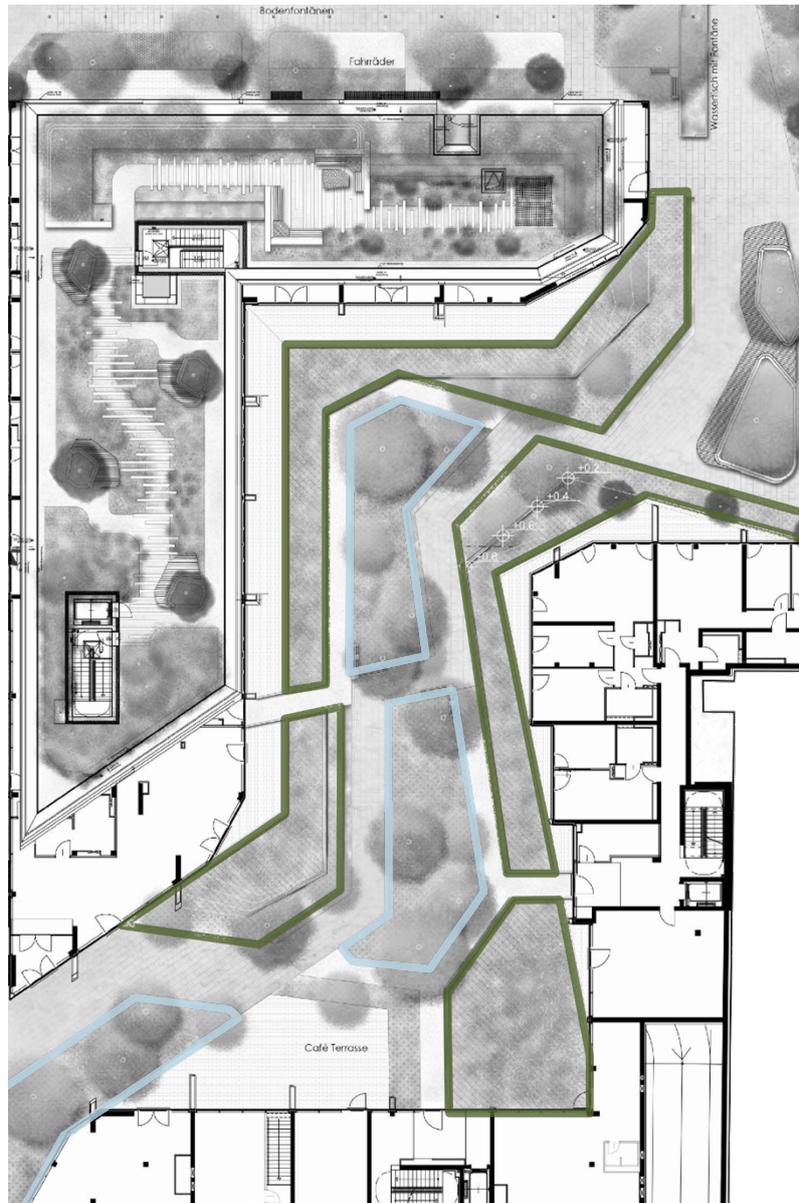


Abbildung 9: Ausschnitt Entwurfsplan ‚Charlie Living‘, Berlin

Bepflanzungskonzept

Die zu erstellende Bepflanzungsplanung umfasst den südlichen Teil des Projektgebietes (s. Abb. 9). Für diesen Bereich lassen sich aus dem Entwurf zwei wesentliche Bepflanzungskonzepte ableiten.

Entlang der Gebäude und angrenzenden Bewohnerterrassen werden zur Abgrenzung des belebten und öffentlich zugänglichen Hofes **Hochbeete** angelegt (s. Abb. 9, grüne Hervorhebung). Die dafür vorgesehene Streupflanzung ist minimalistisch und soll einen schlichten, beruhigenden Rahmen bilden. Es wird eine einheitliche Bodendecke aus *Cornus stolonifera* ‚Kelsey‘ hergestellt, die insbesondere für die laublose Phase in unregelmäßigen Abständen mit Frühblüher (*Omphalodes verna*) und wintergrünen Farnen (*Dryopteris erythrosora*) durchsetzt ist.

Die **Staudeninseln** (s. Abb. 9, blaue Hervorhebung) entlang des Hauptwegenetzes bieten ein umso strukturreicheres und bewegtes Bild. Das Pflanzkonzept entspricht keinem eindeutigen Bepflanzungstyp. Innerhalb großzügiger Gruppierungen verschiedener Bodendecker und Gruppenstauden werden vereinzelt Solitärstauden (*Molopospermum peloponesiacum*, *Actaea pachypoda*, *Misty Blue*) platziert. Das Gerüst bilden derweilen verschieden große Gruppen mittelhoher bis hoher Stauden (*Polygonatum hybridum*, *Weihenstephan*), Gräser (*Molinia caerulea*, *Moorhexe*), wintergrüner Farne (*Dryopteris erythrosora*) und Coppicing-Gehölze (*Catalpa bignonioides*, *Aurea*). Für eine räumliche und zeitliche Dynamik der Pflanzung werden weitere kurzlebige Arten (*Aquilegia chrysantha*, *Yellow Queen*, *Campanula persicifolia*, *Veratrum nigrum*, *Digitalis parviflora*) auf der Fläche ‚eingestreut‘.

Das Thema wird weniger durch eine Kombination deutlich trennbarer Leit- und Begleitstauden bestimmt, als vielmehr durch eine ganzheitliche Farb- und Formenkomposition, welche einem Vegetationsbild des Zion-Nationalparks in Utah nachempfunden ist (s. Abb. 10). Starke Kontraste zwischen bläulichen Gräsern und gelb-grünen Blatt- sowie Blütenfarben bilden die Leitidee. Silbriges Laub (*Brunnera macrophylla*, *Jack Frost*, *Actaea pachypoda*, *Misty Blue*) soll diese Wirkung verstärken. Rostfarbene bis violett-schwarze Blüten (*Veratrum nigrum*, *Digitalis parviflora*, *Molinia caerulea*, *Moorhexe*) stilisieren Farbnuancen des Canyon-Gesteins. An den Rändern sowie in der Mitte der Beete überwiegen feine grasartige Texturen (*Carex flacca*, *Iris foetidissima*, *Molinia caerulea*, *Moorhexe*). Diese werden abgelöst von Pflanzen mit groben rundlich-herzförmigen Blättern (*Catalpa bignonioides*, *Aurea*, *Brunnera macrophylla*, *Jack Frost*, *Asarum caudatum*) oder farnartiger Belaubung (*Dryopteris erythrosora*, *Molopospermum peloponesiacum*).



Abbildung 10: Zion-Nationalpark in Utah, USA (CARLIER 2017)

3.2 Methodische Vorgehensweise

Nachdem die grundlegenden Begriffe des Building Information Modeling im ersten Teil der Arbeit definiert und die formalen sowie funktionalen Anforderungen an die digitale Bepflanzungsplanung in BIM analysiert wurden, wird in den Folgekapiteln die praktische Umsetzung der Bepflanzungsplanung in Autodesk Revit dokumentiert. Das methodische Vorgehen entspricht dabei der nachfolgenden Systematik:

Bepflanzung in BIM

Zunächst werden die Modellierungsziele definiert, um letztgültig festzulegen, wie Vegetationselemente im Einzelnen und digitale Bepflanzung in der Gesamtheit dargestellt werden müssen, damit einerseits den fachlichen Ansprüchen an Bepflanzungspläne und andererseits den Anforderungen der BIM-Methode entsprochen werden kann.

Hierzu sind eindeutige Aussagen zu den erforderlichen Fertigstellungsgraden zu formulieren. Diese bedeuten zugleich eine verbindliche Vorgabe für die notwendige Modellgeometrie (LOG). Die Verknüpfung semantischer Daten im Modell (LOI) wird exemplarisch anhand von Gehölzen und des Anwendungsfalls „Erstellung von Ausführungsplänen“ (s. Abb. 2, S. 5) thematisiert, da dieser für die Bepflanzungsplanung die größte Relevanz aufweist.

Bepflanzungsplanung in BIM

Anhand der formulierten Modellierungsziele sowie der zuvor erarbeiteten inhaltlichen und funktionalen Anforderungen an den Modellierungsprozess wird zu Beginn dieses Kapitels ein Ablaufdiagramm erstellt. Darin werden alle erforderlichen Arbeitsschritte der BIM-Modellierung dargelegt und strukturiert. Es folgt die Umsetzung in Revit und Dynamo.



Der Modellierungsprozess wird mit Bildschirmaufzeichnungen festgehalten, die ergänzend zur textlichen Erläuterung innerhalb der einzelnen Kapitel mittels QR-Codes angehängt werden. Der gesamte Vorgang soll dadurch möglichst umfassend und transparent abgebildet werden. Alternativ sind die Videos auch direkt über die YouTube-Playlist mit dem folgenden Link abzurufen:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLEvSnu3fjRkNVSvPYSDGNfLIksVNwj627>

3.3 Verwendete Software

Für die Umsetzung des praktischen Teils dieser Arbeit wird die Verwendung einer BIM-Modellierungssoftware vorausgesetzt. In Übereinstimmung mit der Themenstellung wird daher die Autodesk-Anwendung Revit eingesetzt. Nähere Informationen zur Auswahl des Modellierungsprogramms beinhaltet Kapitel 3.3.1. Für derartige Anwendungen zur 3D-Konstruktion sind häufig diverse Zusatzmodule verfügbar, um die Leistungsfähigkeit und das Funktionsspektrum zu erweitern. Einige dieser Software-Erweiterungen für Revit

ermöglichen ebenfalls einen spezifischeren Umgang mit Vegetationselementen als das zugrunde liegende Programm. Jene Plugins gehen allerdings häufig mit Zusatzkosten einher. Ein Zusatzmodul, das bereits mit Revit installiert wird, ist das visuelle Programmierwerkzeug Dynamo. Die Verwendung von Dynamo bietet Anwendern eine Möglichkeit, eigenständige Programmierungen zu entwickeln, welche auf die jeweiligen Branchen-, Büro- und Projektanforderungen zugeschnitten sind. Darin besteht der Grundgedanke für das zuvor geschilderte methodische Vorgehen.

3.3.1 BIM Autoren Software

Da durch diese Arbeit Methoden erschlossen werden sollen, die auf den allgemeinen Umgang mit Bepflanzung in BIM übertragbar sind, muss das zugrunde liegende Modellierungsprogramm mit anderen Programmen vergleichbar sein. Daher wird mit Revit eine weit verbreitete Software-Anwendung zur Bearbeitung genutzt.

Autodesk Revit

Es existiert eine Vielzahl ähnlicher angebotener BIM-Autorensysteme. Darunter ist Software für das Erstellen und Modifizieren von BIM-Modellen zu verstehen. Laut einem Artikel auf ‚lichtnet.de‘, einer Fachzeitschrift für Lichtplanung, dominiert Revit in dieser Kategorie jedoch deutlich den globalen Markt (s. HEINZE 2022). Dass sich das Programm auch für die Anwendung in der Landschaftsarchitektur eignet, wird unter anderem seitens der Landschaftsarchitektin Lauren Schmidt in einer Kolumne der Online-Plattform WLA (World Landscape Architecture) betont und belegt. Sie nutzt und empfiehlt die Software für Landschaftsarchitekten aufgrund derselben Qualitäten, die Revit auch für Architekten und Bauingenieure attraktiv machen (vgl. SCHMIDT 2016 a). Indes ist das ausschlaggebende Argument für die Verwendung von Revit in dieser Arbeit die zuvor erwähnte Zusatzsoftware Dynamo. Die Vergleichbarkeit zu anderen BIM-Programmen ist gegeben, insofern auch andere Autorensysteme wie Vectorworks und ArchiCAD Zugang zu visueller Programmierung bieten. Die Software Autodesk Revit wird in der Build-Version 2024.0.2 eingesetzt.

3.3.2 Visuelle Programmierung

Um innerhalb eines BIM-Projektes in Revit über die Standardfunktionen hinaus automatisierte Werkzeuge für die Bepflanzungsplanung zu entwickeln, sind Algorithmen nötig. Diese definieren einen konkreten Ablauf von Aktionen, welche die BIM-Software nacheinander umsetzen soll. Damit jene Anweisungen seitens Revit korrekt interpretiert werden, bedarf es einer Übersetzung der Algorithmen – einer Programmierung (vgl. DYNAMO PRIMER o. J. (a)). Im Gegensatz zu Textprogrammierungen mittels Python oder anderer Programmiersprachen definieren „visuelle Programmiersprachen (eng. Visual Programming Languages, VPL)“ (BORRMANN et al. 2021, S. 281) eine Folge auszuführender Arbeitsschritte über eine grafische Benutzeroberfläche. Daher wird die Software Dynamo, die in dieser Arbeit für die Modellierung der Bepflanzungsobjekte sowie das Erstellen von Bepflanzungsplänen genutzt wird, auch als „grafischer Algorithmeneditor“ (DYNAMO PRIMER o. J. (b)) bezeichnet.

Dynamo for Revit

„Was Dynamo ist, ist davon abhängig, wie Sie es verwenden“ (DYNAMO PRIMER o. J. (c)), heißt es auf der Webseite des Dynamo Primer, einem umfangreichen Online-Handbuch zu den Grundlagen der Software. Laut Autodesk ist die in Revit integrierte Programmversion ‚Dynamo for Revit‘, welche in dieser Arbeit zur Anwendung kommt, zum einen eine grafische Programmieroberfläche und zum anderen eine Open-Source-Plattform zur visuellen Programmierung (s. AUTODESK o. J. (a)). Zusätzlich zu der Verwendung der visuellen Programmiersprache lassen sich auch textbasierte Programmierungen in die Algorithmen integrieren. Vor allem gilt dies für die Dynamo-eigene Programmiersprache ‚DesignScript‘, welche standardmäßig in sogenannten ‚Codeblocks‘ genutzt werden kann (s. DYNAMO PRIMER o. J. (d)). Die Anwendung wird in der Build-Version 2.17.1 eingesetzt.

3.3.3 Datenmanagement

Im BIM-Modell müssen den erstellten Bepflanzungselementen zusätzliche semantische Informationen in Form alphanumerischer Daten zugewiesen werden, welche je nach Projektphase, Fertigstellungsgrad und insbesondere Anwendungsfall variieren können.

Hinter jedem Bauwerksmodell in Revit steht eine robuste Datenbank (s. DYNAMO PRIMER o. J. (b)). Gleichsam ist das Programm standardmäßig nicht für die Nutzung von externen Pflanzendatenbanken und -katalogen über die Benutzeroberfläche optimiert. Stattdessen kann durch Dynamo eine Verbindung zu Excel-Dateien hergestellt werden, die diese Funktion übernehmen (s. HAVERLAND 2021, S. 56-64).

Microsoft Excel

Das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel wird in der Version 2306 verwendet, um als Bindeglied zwischen externen Datenbanken und der Software Dynamo zu fungieren.

Pflanzendatenbanken

Für das Zusammentragen der Pflanzensachdaten werden Datenbanken des Ulmer-Verlags und der Software-Firma Widemann Systeme verwendet. Informationen bezüglich zu verwendender Stauden werden durch die Software ‚**Die Stauden-DVD**‘ ermittelt und in einer Pflanzenliste ausgegeben. Für Gehölzdaten wird eine Liste aus dem Programm ‚**PLANTUS Professional**‘ exportiert.

4 GRUNDBEGRIFFE DER SOFTWARE

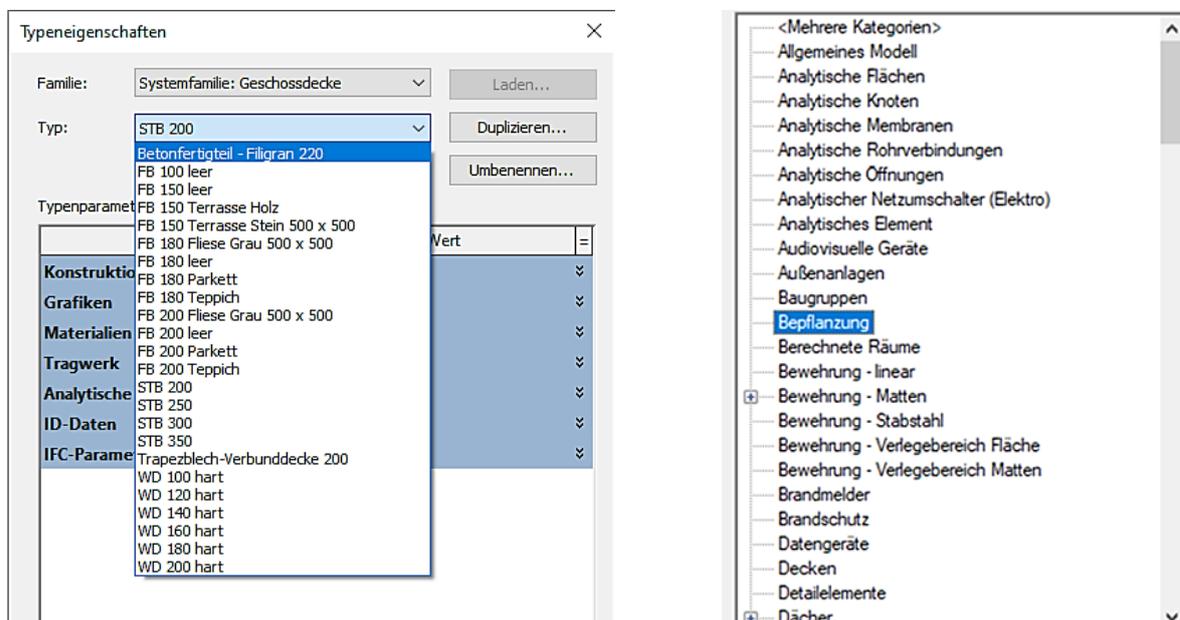
Für ein besseres Verständnis der einzelnen Arbeitsschritte im Modellierungsprozess werden an dieser Stelle die wesentlichen Prinzipien der BIM-Software Revit und des zugehörigen Programmierungswerkzeugs Dynamo erläutert. Die Ausführungen sind auf die Prozesse der nachfolgenden Modellierung abgestimmt und sind keine umfassende Beschreibung der Programme an sich.

4.1 Revit Grundbegriffe

4.1.1 Kategorien und Familien

Die Systematik von Revit-Elementen folgt einer festgelegten Hierarchie. **Kategorien** schaffen eine übergeordnete Struktur, welche sich auf die Auswahl vordefinierter Element-Parameter und auf deren Verwendbarkeit auswirkt (s. AUTODESK o. J. (b)). Die verfügbaren Kategorien orientieren sich an den etablierten IFC-Klassen für Bauteile (s. MORBACH 2020, S. 244). **Familien** sind Objekte, die über gleichnamige Eigenschaften (Parameter) verfügen, wenngleich deren Werte sich unterscheiden können. Werden spezifische Werte wiederholt benötigt, ist eine Differenzierung in verschiedene **Familientypen** möglich. Eine Familienkategorie umfasst dadurch unterschiedliche Familien und Familientypen, welche übereinstimmende Parametergruppen beinhalten (s. Abb. 11). Ferner enthalten Familien sowohl Parameter, deren Werte durch eine Typendefinition vorgegeben sind (**Typenparameter**) wie auch Parameter, deren Werte für jedes Exemplar im Modell separat definiert werden können, ohne dass eine Änderung aller Exemplare eines Familientyps erfolgt (**Exemplarparameter**) (s. AUTODESK o. J. (c)). In Revit wird zwischen Systemfamilien, ladbaren Familien und Projektfamilien unterschieden (s. AUTODESK o. J. (d)).

Abbildung 11: Familienkategorien (rechts) sowie Familien und Familientypen (links)



Systemfamilien

Die vordefinierten Systemfamilien sind in den Programmmenüs mit zumeist gleichnamigen Werkzeugen verknüpft und über diese zu erstellen. Klassischerweise repräsentieren sie die bauseits zu fertigenden Konstruktionen. Zusätzlich werden in Revit jedoch auch Einstellungsoptionen und deskriptive Programmbestandteile als Systemfamilien bezeichnet. Das Erstellen von Familientypen ist innerhalb der Programmumgebung möglich. Jedoch werden Systemfamilien und die erstellten Typen nicht in externen Verzeichnissen gespeichert oder aus diesen geladen (s. AUTODESK o. J. (e)).

Ladbare Familien

Neben der Modellierung im Projekt selbst bietet Revit einen Familieneditor, welcher vornehmlich zur Erstellung ladbarer Familien dient. Diese lassen sich im Format einer Revit-Familie (.rfa) speichern und bei Bedarf in einem beliebigen Projekt verwenden. Ladbare Familien sind vorgesehen für extern hergestellte und angelieferte Bauteile und können mit-samt erstellter Familientypen in ein Projekt geladen werden. Revit bietet verschiedene Vor-lagedateien an, um Familien entsprechend ihrer Nutzung im Projekt verschiedenen Katego-rien zuordnen zu können und festzulegen, wie sie mit Systemfamilien interagieren sollen (s. AUTODESK o. J. (f) und AUTODESK o. J. (g)).

Projektfamilien

Projektfamilien bzw. Projektelemente werden in der Projektumgebung modelliert. Ihre Be-wandtnis liegt in der Bezugnahme auf Geometrie, welche bereits im Projekt vorhanden ist. Dadurch können individuelle Bauteile nach Maß erstellt, eingepasst oder mit Systemfami-lien verschnitten werden. Die Werkzeuge entsprechen weitestgehend denen des Familie-neditors. Jedoch können keine zusätzlichen Typen für Projektfamilien erstellt werden, da diese nur für einen projektspezifischen Einsatz vorgesehen sind (vgl. AUTODESK o. J. (d)).

4.1.2 Parametrisierung

„Ein äußerst wichtiger Trend im Bauwesen ist die parametrische Modellierung, die es er-laubt, geometrische Modelle so mit Abhängigkeiten und Zwangsbedingungen zu versehen, dass ein flexibles Modell entsteht, dass schnell und aufwandsarm an veränderte Randbe-dingungen angepasst werden kann.“ (BORRMANN et al. 2021, S. 43)

Parameter erfüllen in der BIM-Planung verschiedene Funktionen und können sowohl ein-zelnen Familien wie auch deren übergeordneter Bauteilkategorie oder dem gesamten Pro-jekt zugewiesen werden (s. AUTODESK o. J. (h)). Zum einen können mittels Parametrisie-rung Bauteiltypen erzeugt werden, deren einzelne Instanzen im Projekt durch variierende Werte der Parameter manipuliert werden (s. BORRMANN et al. 2021, S. 45). Zum anderen sind in Revit auch typenunabhängige Parametrisierungen möglich (s. Kapitel 4.1.1, Exemplarparameter). Grundlegende Parameter dienen der Modellierung im 3D-Umfeld so-wie der Zuordnung planungsrelevanter Eigenschaften. Revit unterscheidet vier wesentliche Arten von Parametern:

Familienparameter sind Exemplar- und Typenparameter, die innerhalb der Umgebung des Revit-Familieneditors erstellt werden, um einer Familie zusätzliche Eigenschaften zuzuordnen oder eine Typenunterscheidung zu ermöglichen. Ihre Werte können gleichermaßen vorgegeben wie auch planungsspezifisch frei wählbar sein (s. AUTODESK o. J. (h)). Durch die Definition von Formeln können den Familienparametern untereinander weitere Abhängigkeiten hinzugefügt werden (vgl. BORRMANN et al. 2021, S. 44). Da sie weder in Projektlisten noch in -beschriftungen ausgelesen werden können, sind die Einsatzmöglichkeiten der Parameter außerhalb der geometrischen Darstellung von Familien jedoch begrenzt (vgl. SECERBEGOVIC 2020).

Globale Parameter dienen der grundlegenden Parametrisierung innerhalb eines Projektes und haben keine Zugehörigkeit zu bestimmten Familienkategorien. Sie können beispielsweise dazu dienen, Abmessungen von oder Abstände zwischen Bauteilen zu vereinheitlichen (s. AUTODESK o. J. (h)). Das Auslesen mittels Listen ist nicht möglich, da diese nur Bezug auf Modellelemente nehmen. Jedoch können die Definitionen globaler Parameter als Vorgabewert für die Familien- oder Projektparameter von Modellelementen verwendet werden.

Projektparameter sind Standardparameter, die innerhalb einzelner Projektdateien erstellt werden. Definierte Werte werden im Projekt selbst gespeichert, weswegen sie ausschließlich projektspezifisch ausgelesen und verwendet werden können. Eine Zuordnung zu den üblichen Familienkategorien ermöglicht die Darstellung von Projektparametern in Listen, nicht jedoch in Modellbeschriftungen (s. SECERBEGOVIC 2014).

Gemeinsam genutzte Parameter entsprechen der Funktionsweise von Projektparametern ohne eine Limitierung auf spezifische Projekt- oder Familiendateien. Sie werden extern vom Benutzer in Gruppen – z.B. nach Themen oder Verwendungszweck – gespeichert und können bei Bedarf in beliebige Projekte oder Familien geladen sowie an Kategorien geknüpft werden (vgl. AUTODESK o. J. (i)). Trotz der vermeintlichen Editierbarkeit der TXT-Datei, welche als externer Speicherort dient, sollte von einer nachträglichen Bearbeitung in der Regel abgesehen werden (vgl. SECERBEGOVIC 2020). Gemäß der Bezeichnung als Gemeinsam genutzte Parameter bieten diese vornehmlich die Option des Datenaustausches mit anderen Fachplanern (s. SECERBEGOVIC 2014). Sie lassen sich sowohl in Listen wie auch in Beschriftungen verwenden (s. AUTODESK o. J. (i)).

4.2 Dynamo Grundbegriffe

Die Ursprünge von Dynamo liegen in der BIM-Software Revit, wo das Programm vorrangig zur Effizienzsteigerung bei Arbeitsabläufen der Baubranche verwendet wurde (s. DYNAMO PRIMER o. J. (b)). Als Software für visuelle Programmierung verfügt Dynamo über die typischen Bestandteile in der Benutzeroberfläche. Im Arbeitsbereich wird mithilfe visueller Elemente ein Diagramm erzeugt, in welchem der Algorithmus des jeweiligen visuellen Programms (Skript) enthalten ist (vgl. BORRMANN et al. 2021, S. 281). Dabei verläuft der Datenfluss und somit der Programmablauf von links nach rechts (s. DYNAMO PRIMER o. J. (e)).

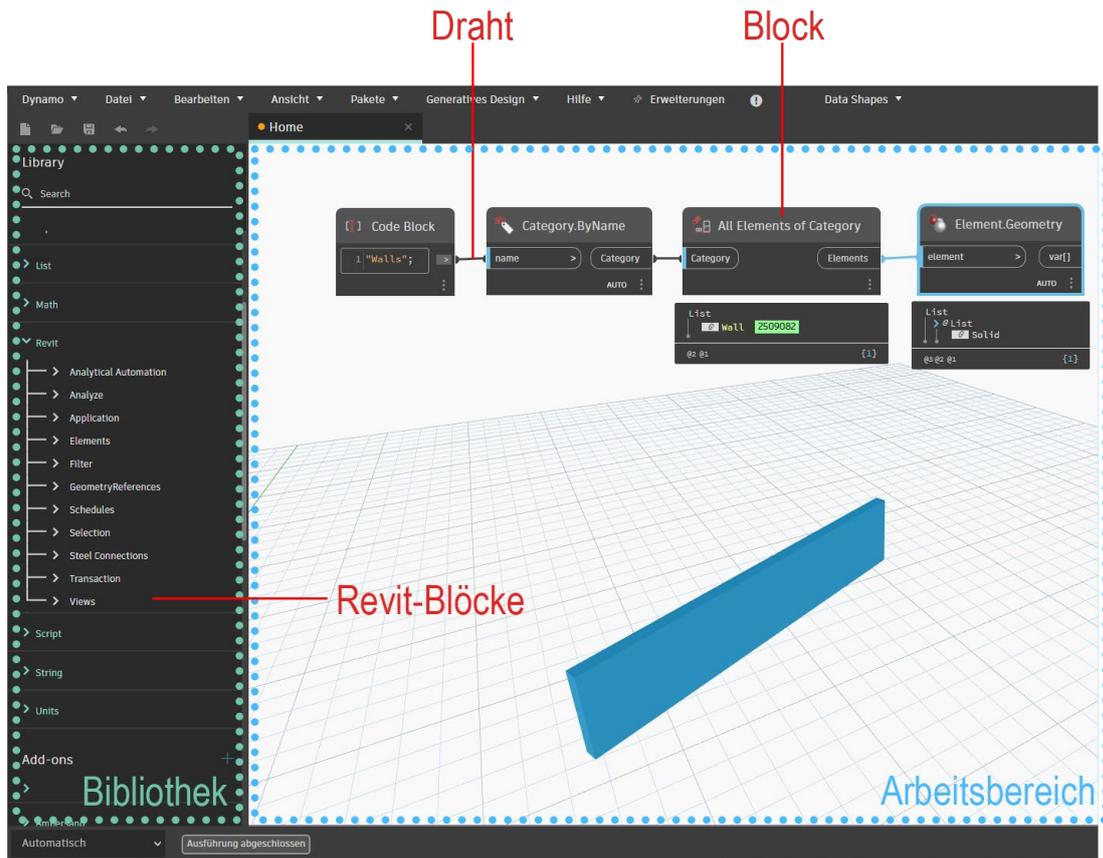


Abbildung 12: Benutzeroberfläche in Dynamo

4.2.1 Blöcke und Drähte

Die auszuführenden Aktionen eines visuellen Programms ergeben sich aus der Kausalität der mittels ‚Drähten‘ verbundenen ‚Nodes‘ (dt. Knoten bzw. Blöcke) (s. Abb. 12). Diese werden in einer Bibliothek verwaltet und können nach Bedarf im Arbeitsbereich platziert und verknüpft werden (vgl. BORRMANN et al. 2021, S. 281). Neben den üblichen Dynamo-Blöcken verschiedener Kategorien enthält diese standardmäßig auch spezifische Revit-Blöcke, die einen direkten Einfluss auf die Arbeitsabläufe in der Revit API ausüben (s. DYNAMO PRIMER o. J. (b)).

4.2.2 Benutzerdefinierte Blöcke und Pakete

Bei anspruchsvollen Programmierungen kann die Auswahl der Standardbibliothek jedoch auch zum limitierenden Faktor werden. Demnach ist eine häufig angemerkte Kritik an visuellen Programmiersprachen, dass „komplexere Verhältnisse nicht immer implementierbar oder schwer verständlich“ (BORRMANN et al. 2021, S. 282) sind. Dynamo überzeugt derweil mit einer großen Open Source Community und der Möglichkeit, benutzerdefinierte Blöcke und sogar ganze Pakete anderer Entwickler zu nutzen oder selbst zu erstellen und gegebenenfalls mit der Community zu teilen.

Diese externen Ressourcen können textbasierte Programmierungen enthalten und dadurch die Dynamo-Bibliothek erweitern. Alternativ werden sie ebenfalls auf Basis visueller Programmierung erzeugt und tragen zur Übersichtlichkeit von Diagrammen bei (s. DYNAMO PRIMER o. J. (f)). Nachfolgend werden die externen Pakete aufgelistet, welche in dieser Arbeit Anwendung finden. Benutzerdefinierte Blöcke dieser Pakete werden zusätzlich in den Skriptabbildungen des Anhangs mit einem Namenspräfix gekennzeichnet (s. Abb. 13).

- archi-lab.net 2023.213.1523
- bimorphNodes 4.2.4
- Clockwork for Dynamo 2.x 2.4.0
- Crumple 2022.5.27
- Data-Shapes 2022.2.103
- Genius Loci 2023.1.23
- Landform 2021.1.25
- LunchBox for Dynamo 2018.7.6
- Rhythm 2023.2.2
- spring nodes 203.2.0
- SteamNodes 1.2.4
- Zebra 2016.7.2

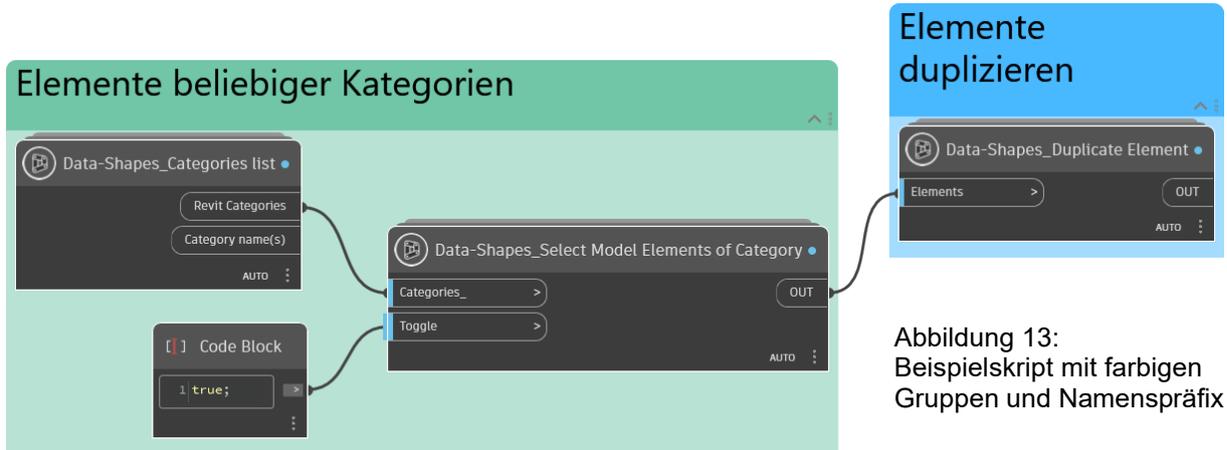
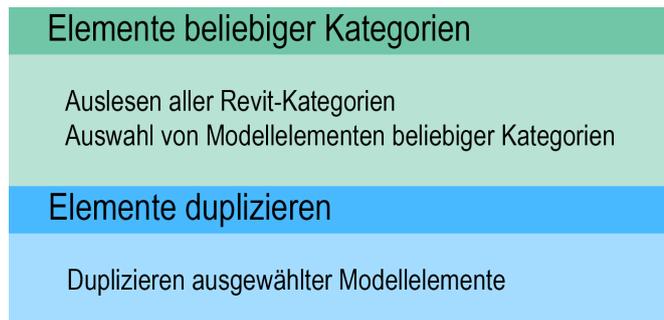


Abbildung 13: Beispielskript mit farbigen Gruppen und Namenspräfix

Visuell programmierte Algorithmen nehmen sehr viel Raum in Anspruch, was bei der Verwendung innerhalb der Software kaum problematisch ist. Da in dieser Arbeit jedoch die Zusammenhänge der Skripte genauer erläutert werden, muss anstelle von gedruckten Grafiken auf den digitalen Anhang 1 verwiesen werden. Um die Arbeitsschritte in Dynamo nachvollziehbar zu dokumentieren, werden die erstellten Diagramme zusätzlich abstrahiert und als Schaubilder der textlichen Erläuterung beigelegt. Dabei beziehen sich die einzelnen Farbfelder auf die gekennzeichneten Gruppen in der Programmierung. Die jeweiligen Teilaktionen der Gruppen werden kurz aufgelistet. Abbildung 14 zeigt eine vergleichbare Bearbeitung des obigen Skriptes.

Abbildung 14: Beispielschaubild zur Erläuterung des Skriptes in Abbildung 13

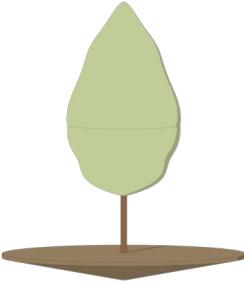
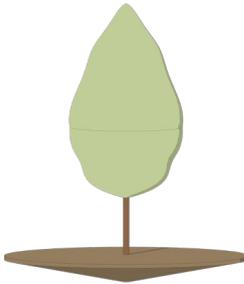
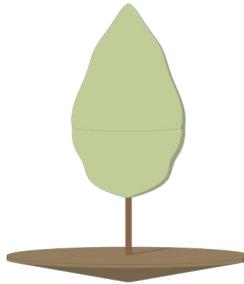
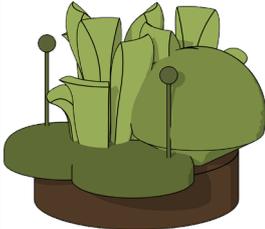


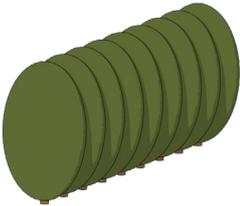
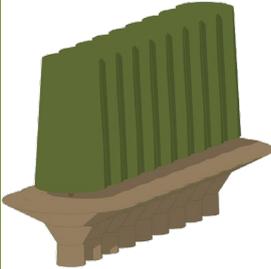
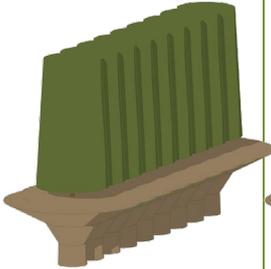
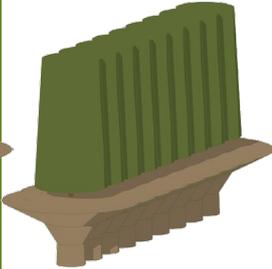
5 BEPFLANZUNG IN BIM

Bevor mit der Modellierung nach der BIM-Methode begonnen werden kann, müssen zunächst die Modellierungsziele definiert werden. Anhand der inhaltlichen Anforderungen an Bepflanzungsplanungen in BIM-Modellen (s. Kapitel 2.4) werden daher zuvor die für die Modellierung relevanten Bestandteile der Bepflanzung identifiziert. Anschließend werden den identifizierten Objekten verfügbare Bauteile aus der Revit-Software zugewiesen. Es wird weiterhin festgelegt, über welche geometrischen Daten die einzelnen Objekte in den jeweiligen Fertigstellungsgraden verfügen sollen. Durch die Definition der zu bearbeitenden Anwendungsfälle ergibt sich zudem eine Liste semantischer Daten (Properties), die im Modellierungsprozess erstellt und den Bepflanzungsobjekten angehängt werden.

5.1 Modellobjekte

Tabelle 6: Modellierungsziele für Vegetationsobjekte

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 300+
Pflanze / Baum				
Geometrie / Bauteilkategorie	Bepflanzung	Bepflanzung		
				
Pflanze / Staude, Gras, Farn, Gehölz				
Geometrie / Bauteilkategorie			Allgemeines Modell	
				

	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 300+
Pflanzenreihe / Hecke				
Geometrie / Bauteilkategorie	Geländer	Bepflanzung		
				
Pflanzfläche / Vegetationsschicht				
Geometrie / Bauteilkategorie	Geländevolumenkörper			
				
Pflanzfläche / Substratschicht				
Geometrie / Bauteilkategorie	Geländevolumenkörper		Geländevolumenkörper + Teile	
				
			+	+
				

5.2 Fertigstellungsgrade

„Die LOD-Spezifikation sieht ausdrücklich keine 1:1 Zuordnung von LODs zu einzelnen Planungsphasen vor“ (BORRMANN et al. 2021, S. 173), wenngleich verschiedene deutsche Organisationen versucht haben, die Leistungsphasen der HOAI mit den Fertigstellungsgraden in Relation zu bringen. Da die Meinungen bezüglich der korrekten Zuordnung stark variieren, ist eine Festschreibung entsprechender LOD-Definitionen nach Planungsphasen problematisch (s. BORRMANN et al. 2021, S. 174). Für die Branche der Landschaftsarchitektur, die noch nicht in den gängigen IFC-Klassen bedacht wurde, werden aktuell ohnehin Modellierungsstandards aus dem Hochbau entlehnt. Für Projekte des Infrastrukturbereichs wurde durch die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 immerhin eine Annäherung an die HOAI geschaffen, indem die Modelle bzw. Modellelemente der jeweiligen Fertigstellungsgrade als Vorentwurfsmodell, Entwurfsmodell etc. bezeichnet werden (s. BMVI [HRSG.] 2019b, S. 15f.). In diesem Sinne wurden den aufgeführten Objekten in Tabelle 6 vier verschiedene Darstellungsoptionen zugewiesen. Diese entsprechen einer Spezifikation des LOD 100 (Vorentwurfsmodell), LOD 200 (Entwurfsmodell) und LOD 300 (Ausführungsmodell). Hinzu kommt eine Darstellungsvariante des Modells mit erhöhtem Detaillierungsgrad als Grundlage für Visualisierungen innerhalb und außerhalb von Revit, welche in dieser Arbeit nachfolgend als LOD 300+ bezeichnet wird.

5.3 Anwendungsfälle

Wie in Kapitel 2.1.4 erläutert, kann das Ausmaß semantischer Modelldaten (LOI) nicht losgelöst von den jeweiligen Anwendungsfällen betrachtet werden. Daher werden in Tabelle 6 ausschließlich die geometrischen Eigenschaften (LOG) in Relation zum LOD dargestellt. Weiterhin können aufgrund des thematischen Schwerpunktes in dieser Arbeit keine ausführlichen Eigenschaftensätze (Property Sets) erstellt werden. Stattdessen wird die Verknüpfung anwendungsfallbezogener Sachdaten im BIM-Modell anhand eines exemplarischen Anwendungsfalls und ausschließlich für das Modellobjekt ‚Baum‘ veranschaulicht.

Die Ausführungsmodelle des LOD 300 entsprechen der höchsten geometrischen Detaillierung und bedürfen zugleich der größten Menge semantischer Projektinformationen. Daher wird für die Baummodelle des LOD 300 beispielhaft ein Eigenschaftensatz generiert. Der Anwendungsfall „Erstellung von Ausführungsplänen“ (s. Abb. 2, S. 5) entspricht der abzubildenden Leistungsphase 5 und veranschaulicht den technischen Charakter von Bepflanzungsplänen. Die benötigten Properties für Gehölze (s. Abb. 15) wurden der Masterarbeit von Ramona Haverland entnommen (s. HAVERLAND 2021, Anhang A).

Zusätzlich zu den im Property Set definierten Gehölzdaten werden den übrigen Bepflanzungsobjekten weitere Eigenschaften zugewiesen. Darunter befinden sich vorwiegend Basisdaten für die Staudenpflanzung und Definitionen, welche für den Erfolg der Modellierung und die Funktionalität des Modells essentiell sind. Das Hinzufügen dieser Daten erfolgt unabhängig von den anwendungsfallbezogenen Properties im Verlauf der Modellierung.

Property	Datentyp	mögliche Werte	Einheit
IfxPflanze/Baum_IFX	Label	x	x
IfxPlant/Tree_ifx	Label	x	x
Istaußen	Boolean	Ja (true) nein (false)	x
Pflanzenklassifizierung	Text	Laubgehölz, Nadelgehölz	x
Kategorie	Text	Großbaum 1. Ordnung Mittelgroße Bäume 2. Ordnung Klein Bäume 3. Ordnung	x
botanischer_Name	Text	Platanus x hispanica, Carpinus betulus, etc.	X
deutscher_Name	Text	Gewöhnliche Platane, Hainbuche, etc.	x
Ueberdauerungsart	Text	Immergrün, Wintergrün, Sommergrün	x
Status	Label	Neupflanzung, Erhaltung, Rodung	x
Erziehungsform	Label	Hochstamm, Halbstamm, Busch, Säule, Heister	x
Wuchsform	Text	Rund, Oval, Schirmförmig	cm
Wuchsgeschwindigkeit	Text	x	cm/Jahr
Gesamthoehe	Text	x	cm
Kronenbreite	Text	x	cm
Kronenhoehe	Text	x	cm
Lichte_Stammhoehe	Text	x	cm
Stammumfang	Text	x	cm
Wurzeltyp	Label	Flachwurzeler, Herzwurzeler, Tiefwurzler	cm
Angenommene_Wurzeltiefe	Text	X	cm
Angenommener_Wurzelumfang	Text	X	cm
Pflanzqualitaet_nach_Guetebestimmung	Text	H Co 65, H mDB STU 16-18, H 3xv mDb, Sol 4xv mDb, etc	x
Anzahl_der_Pflanzen	Text	X	Stk.

Abbildung 15: Properties für Gehölze im Anwendungsfall ‚Erstellung von Ausführungsplänen‘ aus (HAVERLAND 2021, Anhang A)

6 BEPFLANZUNGSPLANUNG IN BIM

In diesem Kapitel wird der Ablauf der BIM-Modellierung in Revit für die Bepflanzungsplanung dokumentiert. Der Prozess lässt sich grob in drei Abschnitte untergliedern. Der erste Abschnitt beschreibt die vorbereitende Modellierung dreier Revit-Familien als Bepflanzungselemente. Diese parametrisierten Objekte werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten in den Modellierungsprozess integriert (s. Abb. 16). Daraufhin folgt im zweiten Abschnitt die eigentliche Ausarbeitung der Projektdatei. Der Ablauf orientiert sich an der Hierarchie der abzubildenden Fertigstellungsgrade (LOD), sodass die Modellierung mit jedem Arbeitsschritt an geometrischer und semantischer Detaillierung sowie an Validität zunimmt. Abschnitt 3 erläutert das Vorgehen zum Ableiten eines Bepflanzungsplanes aus dem zuvor erstellten BIM-Modell. Abbildung 16 zeigt zudem die Entwicklung der zu erstellenden Modellobjekte für Vegetation aus Kapitel 5.1 in Relation zu den Fertigstellungsgraden sowie die Kapitelübersicht für den gesamten Modellierungsvorgang.

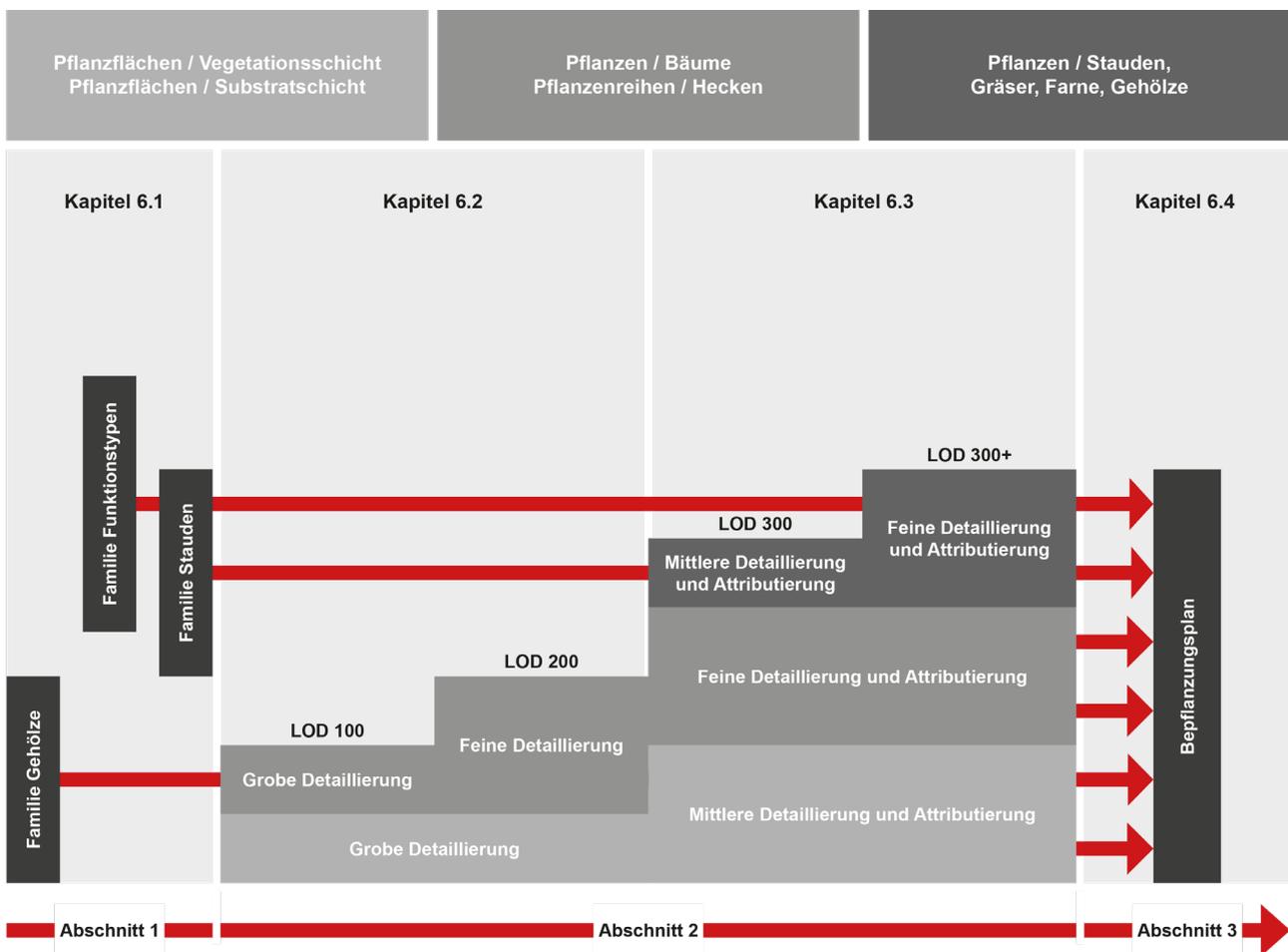


Abbildung 16: Ablaufdiagramm zur BIM-basierten Bepflanzungsplanung in Revit

6.1 Revit-Familien: Vorbereitende Modellierung

Autodesk Revit beinhaltet eine umfangreiche Objektbibliothek mit eigenen Bauteilen bzw. Familien, unter welchen sich ebenfalls eine Auswahl an Bepflanzungsobjekten befindet (s. HAVERLAND 2021, S. 16). Da diese vordefinierten Pflanzenmodelle den fachlichen Ansprüchen der Landschaftsarchitektur nur bedingt genügen (vgl. HAVERLAND 2021, S. 1f.), ist das Erstellen individueller Elemente in Abstimmung mit den eigenen Modellierungsintentionen jedoch zielführender als der Einsatz von Standardobjekten (s. MORBACH 2020, S. 248). Daher wird im Folgenden die benutzerdefinierte Modellierung ladbarer Familien für die Bepflanzungsplanung in BIM dokumentiert.

6.1.1 Familie für Gehölze

(JOCHENS 2023 a)

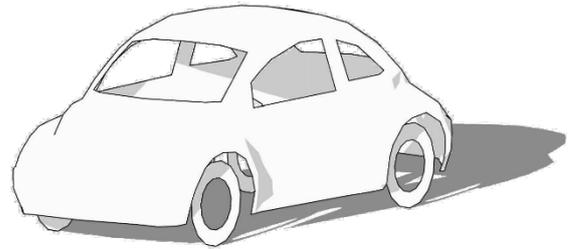
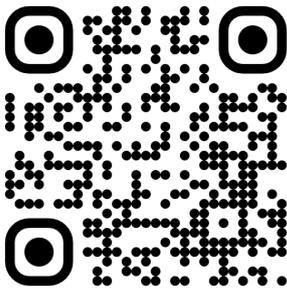


Abbildung 17: RPC-Objekt mit 3D-Geometrie

Die Revit-eigene Bepflanzungsbibliothek besteht größtenteils aus sogenanntem ‚Rich Photorealistic Content‘ (RPC) des Softwareunternehmens ArchVision (s. HAVERLAND 2021, S. 16). Obwohl der Hersteller mittlerweile auch RPC-Objekte mit dreidimensionaler Render- und Vorschaugeometrie anbietet (s. Abb. 17) bestehen die in Revit inklusiven Pflanzenmodelle grundsätzlich aus einer Strichzeichnung als Platzhalter und einer Renderdarstellung auf Basis austauschbarer Fotografien (vgl. AUTODESK o. J. (j)). Während RPC-Bäume vorwiegend für Visualisierungen genutzt werden, sind sie für die Verwendung in anderen BIM-Prozessen ungeeignet. Die BIM-Bloggerin Lauren Schmidt weist insbesondere darauf hin, dass die Objekte nicht aus Volumenkörpern modelliert und somit für Kollisionsprüfungen unzweckmäßig sind. Stattdessen können eigene Bepflanzungsfamilien in Revit modelliert werden, die neben einer RPC-Darstellung auch Volumengeometrie beinhalten (s. SCHMIDT 2015). Ramona Haverland verfolgt in ihrer Abschlussarbeit einen abweichenden Ansatz. Im Bewusstsein der durchgängigen Nutzung eines BIM-Modells während des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks liegt ein Schwerpunkt ihrer Arbeit in einer geometrischen wie auch semantischen Parametrisierung, welche den pflanzlichen Lebenszyklus von Bäumen in den Fokus rückt (s. HAVERLAND 2021, S. 2). Dabei werden arttypischer Habitus und Pflanzenwachstum berücksichtigt (s. HAVERLAND 2021, S. 41). Die Abstraktion der Geometrie beruht auf zuvor definierten Detaillierungsgraden (s. HAVERLAND 2021, S. 29). Die semantischen Informationen richten sich nach den Anwendungsfällen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (s. HAVERLAND 2021, S. 30f.).

Für die Darstellung von Gehölzen werden in dieser Arbeit eigene Baummodelle erstellt, welche diese gedanklichen Ansätze aufgreifen. Die wesentlichen Pflanzenteile werden abstrahiert und in Form von Volumenkörpern modelliert. Im Mittelpunkt steht dabei die

Unterscheidung verschiedener Kronenformen und Wurzeltypen für den Einsatz bei höheren Fertigstellungsgraden. Optional sollen diese durch RPC-Objekte oder vereinfachte Baummodelle aus der Revit-Bibliothek auszutauschen sein. Um dies zu gewährleisten, werden gleich mehrere Revit-Familien erstellt und in einer gemeinsamen ladbaren Familie (im Folgenden ‚Host-Familie‘ genannt) verschachtelt.

Verschachtelte Familien: Baumkronen

Die Anforderungen an digitale Baummodelle in der BIM-Methode unterscheiden sich von den für Visualisierungen üblichen 3D-Bäumen. Für die Funktionalität im Projekt sind Parametrisierbarkeit und semantische Informationen entscheidender als detaillierte Geometrie und fotorealistische Darstellung. Durch den damit einhergehenden Abstraktionsgrad kann im Hinblick auf den individuellen Habitus von Gehölzen daher nur die Kronenform, nicht aber Verzweigungsformen und Kronenarchitektur berücksichtigt werden. Es werden eiförmige, kegelförmige, kugelige, säulenförmige und trichterförmige Kronen unterschieden (s. ROLOFF et al. 2018, S. 13). Für jede dieser Ausprägungen wird in Revit eine Volumen-geometrie mittels der Modelliermethode ‚Rotieren‘ erstellt. Zusätzlich wird eine zylindrische Krone für den Einsatz als Form- bzw. Heckengehölz modelliert. Die Krone wird in der Höhe sowie der Breite bemaßt und die Bemaßung an Abhängigkeiten (Parameter) geknüpft. In der gleichen Familie wird zudem ein Baumstamm als zylindrischer Extrusionskörper generiert und an der Baumkrone fixiert. Dadurch kann neben der Stammbreite auch der Kronenansatz angepasst werden. Da die Geometrie im BIM-Modell durch sogenannte Schlüssel-listen (s. Kapitel 6.3.1) gesteuert werden soll und dies für Typenparameter nicht zulässig ist, erfolgt die Parametrisierung der Baumkronen mittels Exemplarparametern.

Verschachtelte Familien: Baumwurzeln

Besonders entscheidend für Kollisionsprüfungen der Fachmodelle ist die Modellierung des Wurzelbereiches von Gehölzen. Ebenso wie die verschiedenen Kronenformen wird auch die Volumen-geometrie der möglichen Wurzeltypen durch Rotationskörper erzeugt und in separaten Familien gespeichert. Somit wird je eine Familie für Bäume mit Flachwurzeln-, Herzwurzeln- und Tiefwurzelsystem erstellt. Die Modellierung orientiert sich dabei grob an den Skizzen in Andreas Roloffs ‚Lexikon der praktischen Baumbiologie‘ (ROLOFF 2012, S. 196). Die Dimensionierung der Wurzelbereiche kann durch Variation der Parameterwerte für Wurzelradius und Wurzeltiefe festgelegt werden. Für die Wurzeltiefe wurden folgende pauschale Daten aus der Arbeit von Ramona Haverland übernommen:

Flachwurzelsystem	0,85 Meter
Herzwurzelsystem	1,11 Meter
Tiefwurzelsystem	1,38 Meter

(s. HAVERLAND 2021, Anhang C)

Host-Familie: Baum

Als ladbare Familie für den direkten Einsatz im Modell wird anschließend eine Familie mit der Vorlagedatei ‚Allgemeines Modell adaptiv‘ erzeugt, in welcher die Einzelgeometrien der Kronen- und Wurzelfamilien verschachtelt werden können. Dazu werden die Familien über den Befehl ‚Familie laden‘ im Menü ‚Einfügen‘ in das Projekt importiert. Der Familieneditor für ‚Adaptive Bauteile‘ verfügt über ein erweitertes Funktionsangebot, sodass Wurzel- und Kronenfamilie für das Platzieren im Modell eine abweichende Ausrichtung im 3D-Raum zugewiesen werden kann. Dadurch wird gewährleistet, dass der oberirdische Teil der Gehölze im Modell stets vertikal ausgerichtet ist, während sich der Wurzelbereich der Neigung des zugrunde liegenden Geländes anpasst (s. Abb. 18).

Die Exemplarparameter der Wurzel- und Kronenfamilien werden mit gemeinsam genutzten Parametern verknüpft, die nach dem Platzieren unmittelbar aus dem Modell gesteuert werden können. Zudem werden geometrische Abhängigkeiten von Krone und Wurzelbereich definiert. So wird beispielsweise der Durchmesser des Wurzelbereiches anhand der generellen Baumhöhe abgeschätzt (s. INTERNATIONAL SOCIETY OF ARBORICULTURE 2011, S. 1). Durch das Hinzufügen oder Entfernen von Haken bei einzelnen ‚Ja/Nein Parametern‘ können zudem die dargestellten Kronen- und Wurzelformen im Modell ausgetauscht werden. Neben den eigens erstellten Pflanzenteilen werden darüber hinaus zwei Familien aus der Revit-Bibliothek in die Host-Familie geladen. Das Bepflanzungsobjekt ‚Baum 3D - Ellipse‘ entspricht einer vereinfachten Kronengeometrie aus Volumenkörpern ohne Wurzelballen und kann für die Darstellung von Gehölzen im LOD 100 verwendet werden. Die Familie ‚RPC Bepflanzung - Baum Laubbaum‘ bietet dagegen gute Voraussetzungen für Visualisierungen mit der Revit-eigenen Renderfunktion.

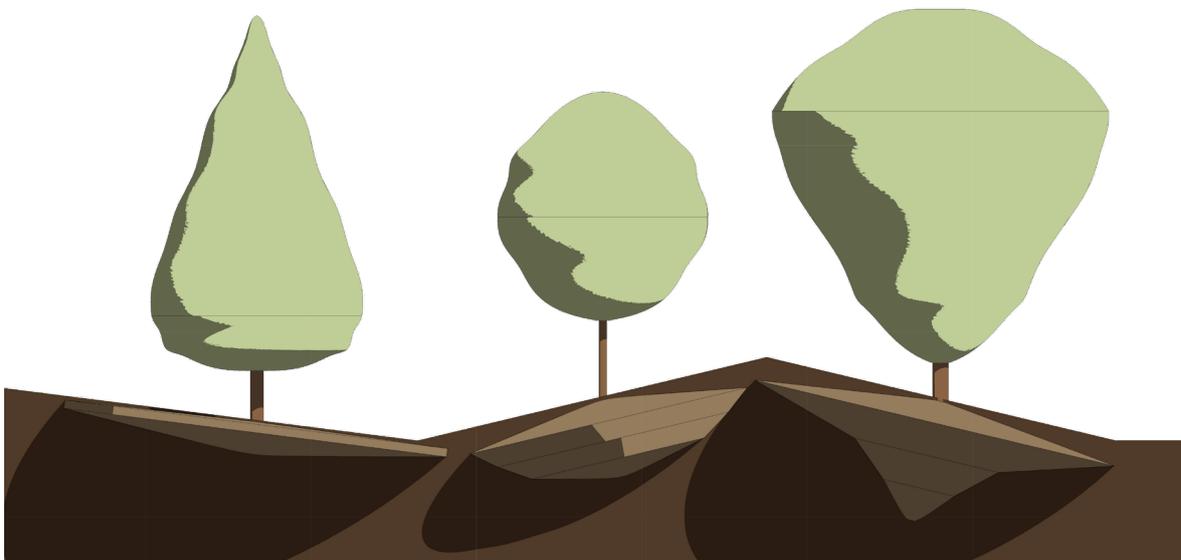
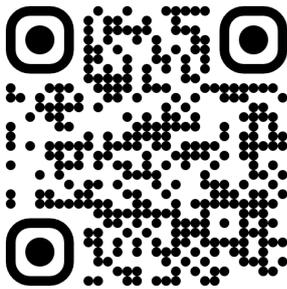


Abbildung 18: Baummodelle nach Wuchseigenschaften (unterschiedliche Kronen- und Wurzeltypen)

6.1.2 Familie für Funktionstypen

Je nach planerischer Intention und individuellen Eigenschaften der verwendeten Pflanzen erfüllen die einzelnen Arten spezifische Funktionen für die ‚Architektur einer Pflanzung‘. Dies ermöglicht eine Gliederung der Pflanzenliste nach sogenannten Funktionstypen. Im Rahmen der dreidimensionalen Umsetzung einer Pflanzidee in BIM kann dieser planerische Aspekt für die Darstellung von Bepflanzungsobjekten aufgegriffen werden. Die Abbildung der Pflanzen nach ihrer individuellen Funktion für das Pflanzkonzept bietet Planenden einen generellen Überblick über den aktuellen Stand des Projektes und kann hilfreich dabei sein, die Gestaltungsidee gegenüber Kunden zu verdeutlichen. Zudem wäre diese Information über die Datenbank des BIM-Modells stets abrufbar und könnte in späteren Phasen des Lebenszyklus der Anlage nützlich für die Entwicklungs- und Unterhaltungspflege oder die Restaurierung von Staudenflächen sein.

(JOCHENS 2023 b)



Aus diesem Grund wird für diese Arbeit eine abstrakte Modellierung von Volumenkörpern für die Funktionstypen Solitärstaude, Gerüststaude, Gruppenstaude, Bodendeckstaude und Streupflanze vorgenommen. Der Nutzen einer dreidimensionalen Darstellung von Füllpflanzen für das BIM-Modell wird insbesondere aufgrund der wenig gerüstbildenden Merkmale und kurzen Lebensdauer als unbedeutend erachtet. Des Weiteren soll im Folgenden die Endung ‚Staude‘ gegen den allgemeineren Begriff ‚Pflanze‘ ausgetauscht werden, da neben Stauden im engeren Sinn auch Gehölzen, Farnen und Gräsern eine Bedeutung für die Funktionalität von Staudenpflanzungen beigemessen wird. Der konzeptionellen Optik der generierten Volumenkörper wird zudem eine Darstellung mittels RPC-Elementen hinzugefügt, um die erstellten Modelle zusätzlich für Visualisierungszwecke verwenden zu können.

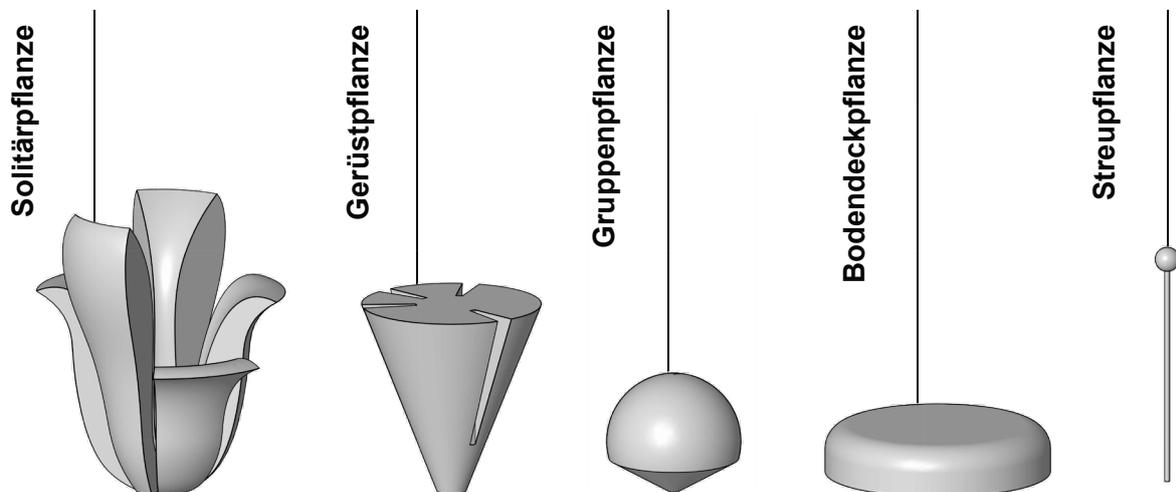


Abbildung 19: Vegetationsobjekte nach Funktionstypen der Stauden

Verschachtelte Familien: Funktionstypen

Um den angezeigten Funktionstyp eines Pflanzenobjektes im Modell auswechseln zu können, werden die Einzelgeometrien in separaten Familien der Kategorie ‚Bepflanzung‘ modelliert. Hierbei soll die Gestaltung der Objekte auf die Charakteristika der jeweiligen Funktionstypen bezugnehmen (Abb. 19). Vorwiegend kommen die Modelliermethoden ‚Rotieren‘ und ‚Extrusion‘ zum Einsatz.

Den Familien für Gerüst- und Streupflanzen wird ein einfacher Abmessungsparameter zugewiesen, der im Projekt mit Werten der tatsächlichen Pflanzenhöhe versehen werden soll. Die Familien für Solitär-, Gruppen- und Bodendeckpflanzen werden stattdessen in eine zweite Bepflanzungsfamilie geladen. Diese doppelte Verschachtelung ist eine übliche Methode, um Revit-Objekte ohne umfangreiche Parametrisierung proportional skalierbar zu machen. Der ausschlaggebende Standardparameter ‚Höhe‘ wird demnach erst wirksam, sobald die Bepflanzungsfamilie nach einer zusätzlichen Verschachtelung in einer zweiten Bepflanzungsfamilie im Projekt platziert wird (s. Abb. 20).

Host-Familie: Funktionstyp

Anschließend werden alle Einzelgeometrien in einer gemeinsamen ladbaren Familie verschachtelt. Im zweiten Schritt wird die Familie um ein Element für RPC-Bepflanzung ergänzt. In der Revit-Bibliothek wird dazu die Familie ‚RPC Bepflanzung - Strauch‘ ausgewählt und in der Host-Familie platziert. Nutzer können zwischen 35 vordefinierten Typen mit variierenden Renderdarstellungen für die Visualisierung wählen.

Durch das Erstellen von Parametern des Revit-Datentyps ‚<Familientyp...>‘ können die geladenen Funktionstypenmodelle sowie die vordefinierten Typen der RPC-Familie nun beliebig im Projekt ausgetauscht werden.

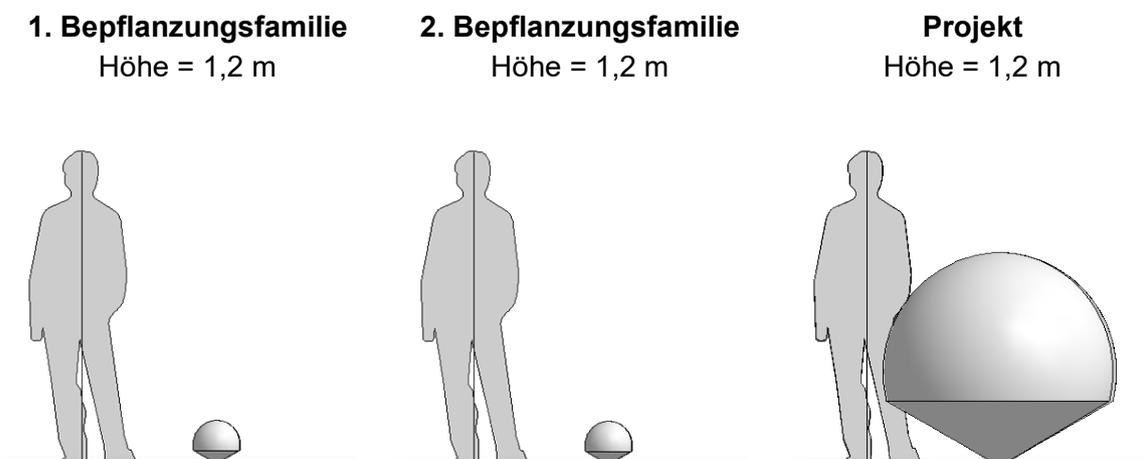
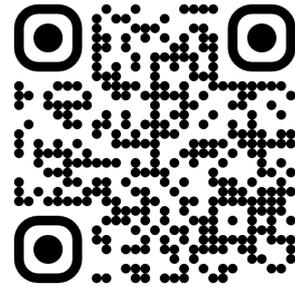


Abbildung 20: Wirkung der doppelten Verschachtelung in der Kategorie ‚Bepflanzung‘

6.1.3 Familie für Stauden

Die differenzierte Vegetation in Außenanlagen ist nur als System zu erfassen. Folglich sollte auch die digitale Bepflanzung in BIM systemisch gedacht werden. Daher bedarf es für die Darstellung von Stauden im Modell ‚intelligenter‘ Objekte, welche die Anforderungen für das Erstellen zweidimensionaler Bepflanzungspläne erfüllen und gleichzeitig in das bestehende 3D-Modell integrierbar sind. Die Revit-Familie für Einzelstauden und kleine Pflanzengruppen, deren Modellierung nachfolgend erläutert wird, beinhaltet Symbolgrafiken für herkömmliche Ausführungspläne und dreidimensionale Geometrie zur Vervollständigung landschaftsarchitektonischer BIM-Modelle. Das Einbinden der zuvor verwendeten Familien für Funktionstypen und RPC-Vegetation bietet Optionen für die Visualisierung von Staudenpflanzungen.

(JOCHENS 2023 c)



Verschachtelte Familien: 2D-Symbole

Durch kreisförmige Symbole werden in dieser Familie einzelne Stauden oder Tufts für Draufsichten skizziert. Hierbei kommen die Revit-Werkzeuge ‚Modelllinie‘ und ‚Gefüllter Bereich‘ zum Einsatz. Die Symbole werden jeweils in eigenen Familien der Kategorie ‚Bepflanzung‘ erstellt und für eine gleichmäßige Skalierung im Projekt anschließend in eine zweite Familie derselben Kategorie geladen.

Host-Familie: Staude

Zur Modellierung der ladbaren Pflanzenfamilie wird die Revit-Vorlage ‚Allgemeines Modell Geschossdecke‘ verwendet. Objekte dieser Art können im Modell auf den Basisbauteilen ‚Geschossdecke‘ oder ‚Geländevolumenkörper‘ platziert werden. Des Weiteren lassen sich sogenannte ‚Abzugskörper‘ erstellen, welche beim Platzieren Hohlkörper in die vorhandenen Basisbauteile schneiden. In der Pflanzenfamilie wird ein solcher Abzugskörper als parametrisierbarer Zylinder modelliert. Die entstehenden Hohlkörper in den jeweiligen Basisbauteilen bewirken bei diesen eine Reduzierung des Flächeninhaltes. Weil der Flächeninhalt zur Kalkulation der Pflanzenmenge bei Gruppenpflanzungen verwendet wird, entsteht eine dynamische Wechselwirkung zwischen Pflanzensymbolen und Pflanzenflächen im BIM-Projekt (s. Abb. 21). Da sich Stauden in ihrem Ausbreitungsverhalten und Raumspruch teilweise stark unterscheiden, muss für die Dimensionierung des Abzugskörpers eine Abhängigkeit von den individuellen Pflanzendaten hergestellt werden. Tabelle 7 verdeutlicht dies anhand des Zusammenhangs der Parameter Pflanzdichte und Radius.

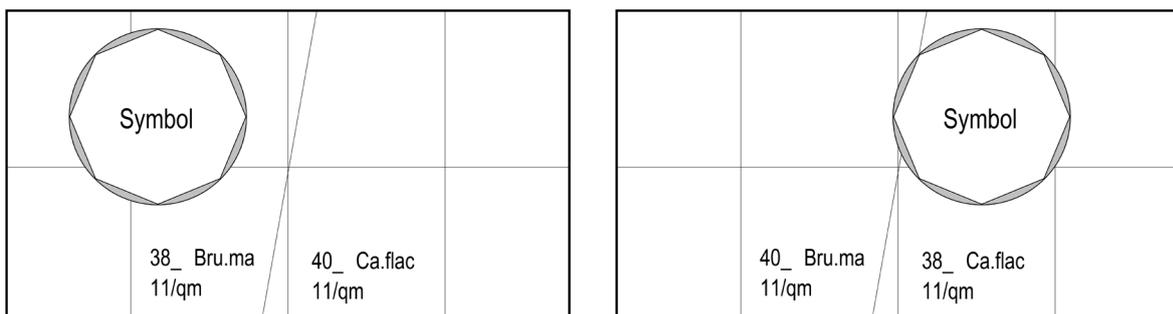


Abbildung 21: Auswirkungen des Abzugskörpers auf die kalkulierte Staudenanzahl

Für die notwendigen Planzeichen der Bepflanzung werden die vorab generierten 2D-Symbole in die Host-Familie geladen. Im Projekt lassen sich über eine Dropdownliste alle unterschiedlichen Symbole für die Darstellung der vorgesehenen Stauden auswählen. Durch die doppelte Verschachtelung kann die Skalierung der 2D-Familien mit Zwangsbedingungen von der Geometrie des Abzugskörpers abhängig gemacht werden. Demzufolge werden Stauden mit hohem Raumanspruch in Draufsichten mit großen Symbolen und solche mit geringem Raumanspruch mit kleinen Symbolen abgebildet. Zudem werden zum Zweck der dreidimensionalen Darstellung die verschiedenen Einzelgeometrien aus der Funktionstypen-Familie (s. Kapitel 6.1.2) sowie die darin verschachtelte Familie ‚RPC Bepflanzung - Strauch‘ in die Host-Familie geladen. Neben der Auswahl einer geeigneten Renderdarstellung und des Funktionstyps der Pflanze kann im Modell zusätzlich die Anzahl der zu pflanzenden Stauden pro Symbol angegeben werden. Durch einen parametrisierten ‚Reihenbefehl‘ werden die 3D-Geometrie des Funktionstyps sowie die RPC-Familie stets in der vorgegebenen Stückzahl angezeigt (s. Abb. 22).

Tabelle 7: Parametrische Abhängigkeiten der Stauden-Familie

Datentyp	Name	Formel	Beispielwert
Länge	Radius	$\sqrt{\text{Fläche} \div \pi}$	0,437 m
Fläche	Fläche	$1\text{m}^2 \div \text{Pflanzdichte} \times [\text{Anzahl/Symbol}]$	0,6 m ²
Zahl	Pflanzdichte	Eingabe	3 Stk./m ²
Zahl	Anzahl/Symbol	Eingabe	3 Stk.

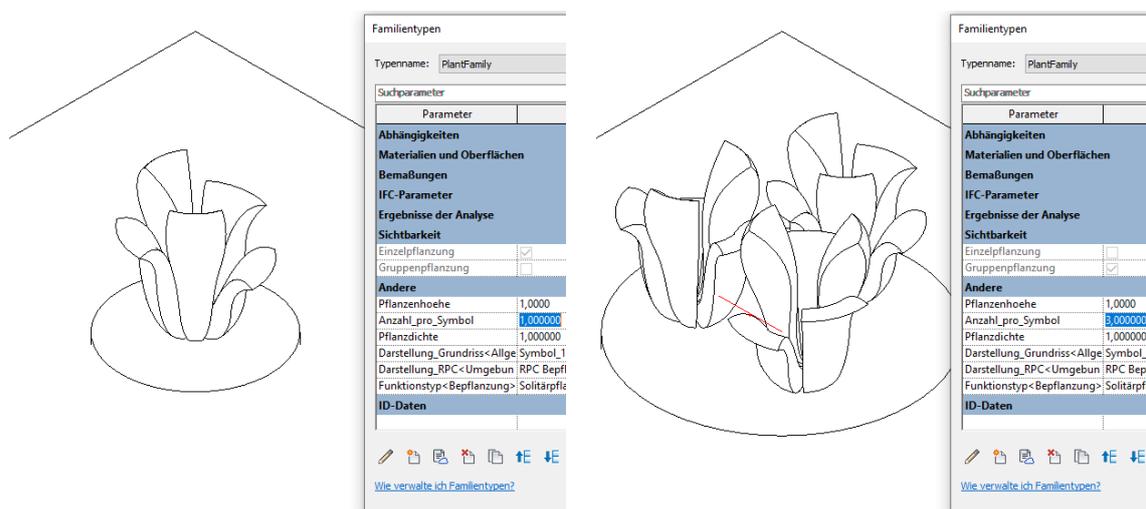


Abbildung 22: Auswirkungen des parametrisierten ‚Reihenbefehls‘

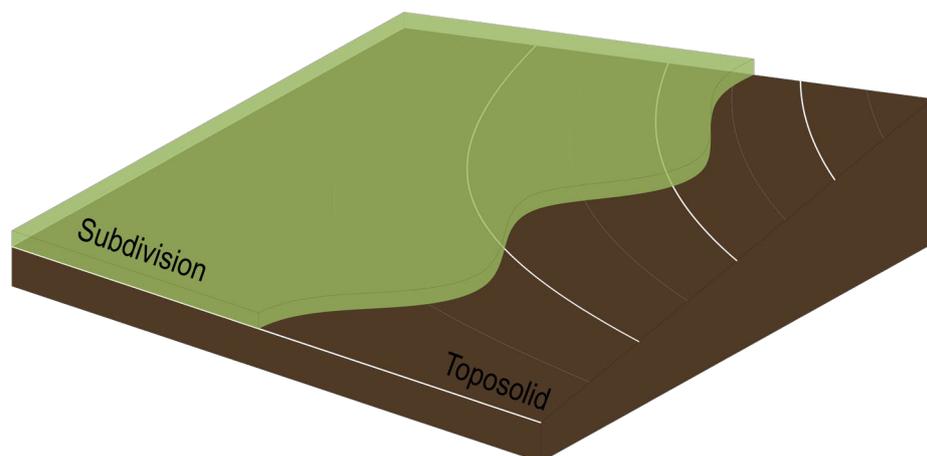
6.2 Revit-Projekt: Bepflanzungsplanung LOD 100-200

Im Anschluss an die vorbereitende Modellierung wird mit der Arbeit am Bepflanzungsprojekt in BIM begonnen. Zunächst werden dem grundlegenden 3D-Modell die wesentlichen Vegetationsobjekte für den LOD 100 hinzugefügt. Im weiteren Verlauf werden die Elemente in Revit für den LOD 200 weiter ergänzt oder gegen detailliertere Objekte ausgetauscht.

6.2.1 Pflanz- und Saatflächen

Gemäß den von Matthias Remy formulierten Anforderungen an BIM-basierte Bauanträge für Außenanlagen beim Projekt ‚Elbtower‘ in Hamburg sollen Vegetationsflächen zusätzlich zur kalkulierten Flächengröße und genauen Position im Projekt auch geometrische Eigenschaften zu Geländeneiveau und Substratstärke aufweisen (s. REMY et al. 2021, S. 83). Demnach muss bereits für ein Entwurfsmodell im LOD 200 eine dreidimensionale Modellierung von Pflanz- und Saatflächen vorgenommen werden. Derartige Volumenkörper für Vegetation können in Revit beispielsweise mit dem Modellierungstool ‚Geschossdecke‘ generiert werden (s. REMY et al. 2021, S. 85f.). Die Veröffentlichung der aktuellen Programmversion Revit 2024 legt des Weiteren die Verwendung der neuen Geländefunktionen nahe. Dadurch erstellte Elemente, sogenannte ‚Toposolids‘ (dt. Geländevolumenkörper), bieten alle erforderlichen Vorteile von Geschossdecken und darüber hinaus ergänzende Eigenschaften jener ‚Topografie‘-Objekte, die sie in der neuesten Programmversion gänzlich ersetzt haben (vgl. SCHMIDT 2023). Im BIM-Modell des ‚Elbtowers‘ wurde die Vegetationsschicht der geplanten Strauchunterpflanzungen mangels geeigneter Alternativen durch separate Bauteile modelliert (s. REMY et al. 2021, S. 86). Stattdessen lassen sich auf Basis bereits erstellter Toposolids ebenfalls Vegetationskörper in beliebiger Form erzeugen (s. Abb. 23). Diese ‚Subdivisions‘ genannten Unterteilungen folgen der Geländeform des darunter befindlichen Substratkörpers und können parametrisch in ihrer Vegetationshöhe variiert werden (s. SCHMIDT 2023).

Abbildung 23:
Mögliche Varianten von
‚Geländevolumenkörpern‘



Substratschicht

Für das Bepflanzungsprojekt wird die Substratschicht von Vegetationsflächen mittels ‚Toposolids‘ dargestellt. Anstelle des manuellen Modellierens einzelner Elemente auf der Grundlage in Revit skizzierter Umgrenzungen wird eine automatisierte Modellierung durch visuelle Programmierung in Dynamo angestrebt. Dabei werden die Flächenumgrenzungen aus der verknüpften CAD-Grundlage ‚Charlie Living_Entwurf‘ verwendet.

Vorbereitend werden die Flächen nach der beabsichtigten Art der Bepflanzung kategorisiert. Je Kategorie wird in Revit ein Typ der Systemfamilie ‚Geländevolumenkörper‘ erstellt und entsprechend benannt. Zugleich werden alle CAD-Kurven in der Grundlagendatei auf gleichnamige Layer sortiert (s. Abb. 24). Durch den Dynamo-Algorithmus kann somit eine Zuweisung der vorgesehenen Typenbezeichnung auf Basis der jeweiligen Layer-Namen erfolgen. Da es derzeit weder in der Standardbibliothek noch in den gängigen benutzerdefinierten Paketen Dynamo-Blöcke zum Erstellen der erst kürzlich eingeführten ‚Toposolids‘ gibt, wird für das Diagramm eine textbasierte Programmierung mit der Programmiersprache Python erstellt. Diese Methode ermöglicht bereits während der Anwendung des Dynamo-Skripts das Festlegen mehrerer Höhenpunkte. Alternativ können auch planare ‚Toposolids‘ erzeugt werden, deren Gelände nachträglich angepasst werden kann. Falls vorgesehen, ist das zusätzliche Verschneiden oder Verbinden der erstellten Geometrien mit anderen Revit-Objekten möglich. Dies eignet sich besonders für das Integrieren kleinerer Pflanzflächen und Beete in ein größeres Geländemodell.

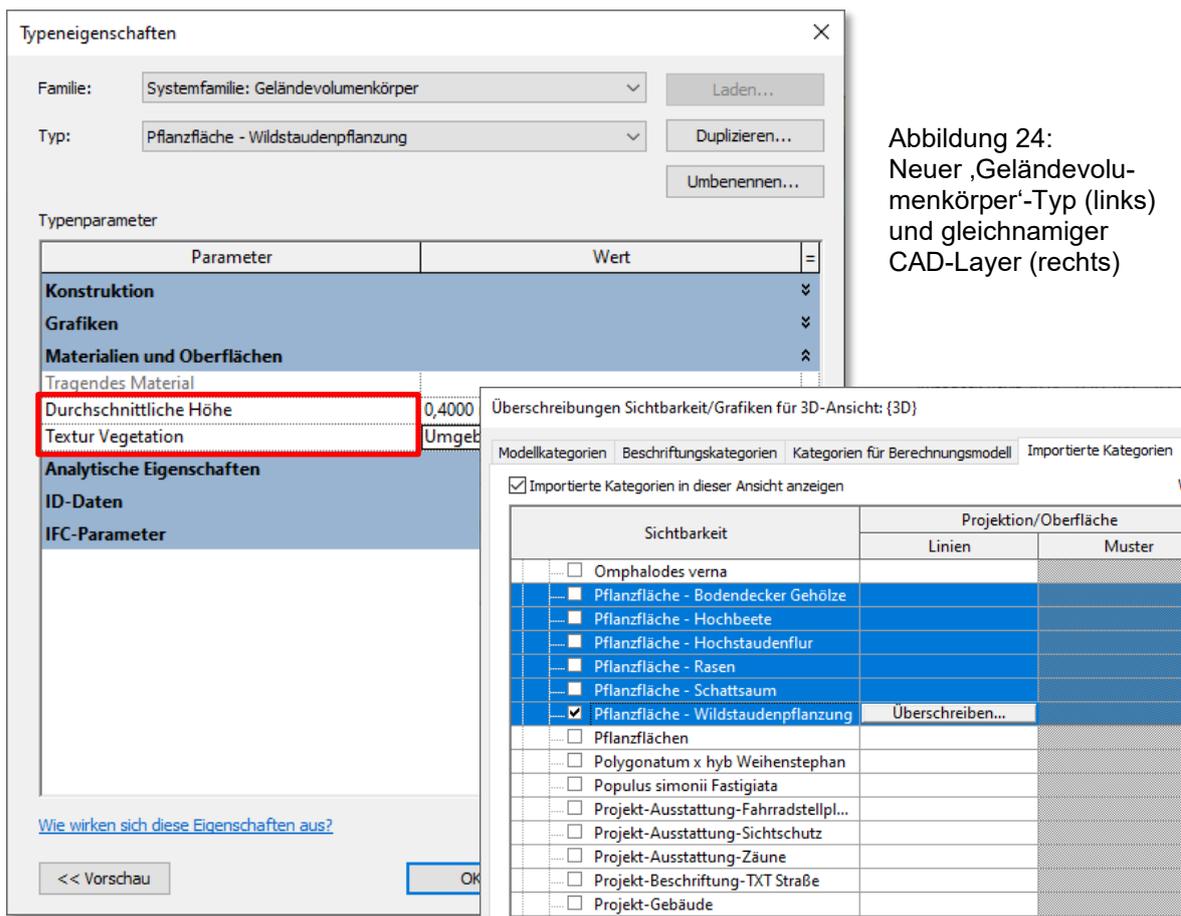
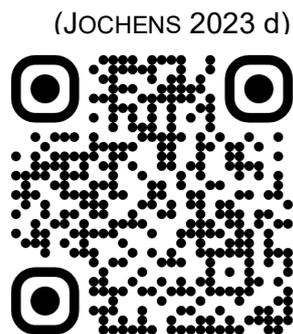


Abbildung 24:
Neuer ‚Geländevolumenkörper‘-Typ (links) und gleichnamiger CAD-Layer (rechts)

Vegetationsschicht

Die neuen Geländefunktionen in Revit 2024 bieten Nutzern die Möglichkeit, einzelne Bereiche oder die gesamte Fläche eines vorhandenen ‚Toposolids‘ mit einer erhabenen zweiten Schicht zu versehen. Durch den Befehl ‚Unterteilen‘ erzeugt Revit somit einen Volumenkörper auf dem ‚Toposolid‘, welcher sich durch Material und Höhe von diesem abheben kann. Da es sich dabei um separat parametrisierbare Modellelemente handelt, werden solche ‚Subdivisions‘ in dieser Arbeit als Vegetationsschicht für den LOD 100 und LOD 200 verwendet. Wie bei der Substratschicht werden auch die Subdivision-Elemente in Dynamo durch eine Python-Programmierung erstellt. Die Vegetationsschicht soll die gesamte Fläche der einzelnen Substratvolumenkörper abdecken. Durch das Skript wird außerdem der integrierte Höhen- und Materialparameter der Subdivisions festgelegt. Die dafür vorgesehenen Werte werden zuvor als Typenparameter für die zugrundeliegenden ‚Toposolids‘ definiert (s. Abb. 24, Hervorhebung).

Abbildung 25 veranschaulicht die wesentlichen Aktionen des erstellten Algorithmus in Dynamo. Anhand der Farbfelder lassen sich die einzelnen Abläufe ebenfalls im vollständigen Diagramm (Anhang 1 a) nachvollziehen. Die Umsetzung im Modell kann anhand des Video-Links (s. u.) verfolgt werden. Der Programmierprozess wurde exemplarisch für die nachfolgenden Dynamo-Arbeitsschritte im Video erläutert.

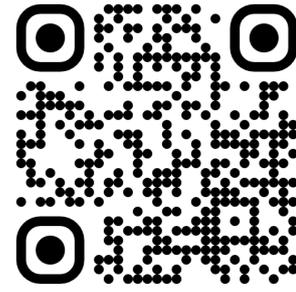


Eingaben
Auswahl CAD-Datei und Kurven-Layer Auswahl Typ für Toposolids Auswahl Höhenpunkte
Geschlossene Umgrenzung
Kurven aus CAD importieren Einzelkurven sortieren Polykurven erstellen
Revit-Flächen
Gefüllte Bereiche aus Polykurven erstellen
Valide Polykurven
Geometrie der ‚Gefüllten Bereiche‘ importieren Kurven isolieren Polykurven erstellen
Toposolids und Subdivisions
Python-Block zum Erstellen der Toposolids Python-Block zum Erstellen der Subdivisions
Vegetationsschicht anpassen
Toposolid-Typ: Höhe und Material auslesen Subdivision: Höhe und Material definieren
Umgebung Schnittstellen
Verschneiden Toposolids mit Umgebung (optional)
Revit-Flächen löschen
Alle zuvor erstellten ‚Gefüllten Bereiche‘ löschen

Abbildung 25: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 a)

Darstellungsoptionen

In dem Programm Revit 2024 werden ‚Toposolids‘ und ‚Subdivisions‘ nur unzureichend voneinander abgegrenzt. Sämtliche Elemente dieser Art werden der Kategorie ‚Geländevolumenkörper‘ zugewiesen und lassen sich auf herkömmliche Weise nicht getrennt voneinander in ihren Sichtbarkeits- oder Grafikeinstellungen bearbeiten. Auch das unabhängige Auslesen der Objekte in Bauteillisten ist ohne das vorherige Filtern nach Parameterwerten nicht möglich. Im Folgenden werden zwei Optionen erläutert, die einen flexibleren Umgang mit diesen Bauteilen ermöglichen.



(JOCHENS 2023 e)

Nachdem für alle Pflanz- und Saatflächen im Projekt sowohl die Substratschicht in Form von ‚Toposolids‘, als auch die Vegetationsschicht in Form von ‚Subdivisions‘ modelliert wurde, soll nun die grafische Darstellung für ausgewählte Ansichten variiert werden. Die Materialzuweisung im Erstellungsprozess mittels Dynamo bildet die Grundlage für das Ableiten von Vorentwurfs- und Entwurfsplänen. Jedoch entspricht diese Grafik nicht den Ansprüchen an 3D-Ansichten des Modells. Da ein direkter Zugriff auf die Grafikeinstellungen der ‚Subdivisions‘ nicht möglich ist, wird im Menü ‚Überschreibungen Sichtbarkeit/Grafiken‘ unter der Registerkarte



‚Filter‘ eine Regel definiert, welche die Darstellung der Vegetationsschicht für 3D-Ansichten festlegen soll. Für die Kategorie ‚Geländevolumenkörper‘ wird somit ein neuer Filter erstellt, der eine Differenzierung von ‚Subdivisions‘ und ‚Toposolid‘ ermöglicht und der Vegetationsschicht automatisch ein alternatives Muster sowie einen definierten Transparenzwert zuweist (s. Abb. 26).

Abbildung 26: Darstellungsoptionen durch ‚Filter‘

Die Möglichkeit, Elemente einer bestimmten Kategorie im Projekt ausblenden zu können, stellt eine wesentliche Funktion in Revit dar und erlaubt das effiziente Arbeiten im Modell. Weil die Steuerung der Sichtbarkeitseinstellungen von ‚Geländevolumenkörpern‘ ebenso eingeschränkt ist wie die gezielte Anpassung der grafischen Darstellung, wird auch zu diesem Zweck ein regelbasierter Filter in den einzelnen Ansichten erstellt.

Der Filter nimmt Bezug auf die Werte eines Projektparameters, welcher eigens für die Kategorie ‚Geländevolumenkörper‘ erstellt wird. Der Parameter mit dem Namen ‚Bepflanzung Ein/Aus‘ hat den Datentyp eines ‚Ja/Nein‘-Parameters und wird mit einem gleichnamigen Globalen Parameter verknüpft (s. Abb. 27, Hervorhebung). Für den Ansichtsfiler werden zwei Regeln definiert. Die erste Regel unterscheidet ‚Toposolids‘ und ‚Subdivisions‘ anhand des Standardparameters ‚Höhe unterteilen‘, welcher ausschließlich bei ‚Subdivisions‘ zu finden ist. Anschließend wird für die zweite Regel festgelegt, dass für den Projektparameter ‚Bepflanzung Ein/Aus‘ kein Haken gesetzt sein darf. Für alle Objekte, bei denen beide Bedingungen zutreffen, wird daraufhin die Sichtbarkeit deaktiviert. Folglich können im Modell alle ‚Subdivisions‘ zugleich über den Globalen Parameter ‚Bepflanzung Ein/Aus‘ sichtbar gemacht oder ausgeblendet werden (s. Abb. 27).

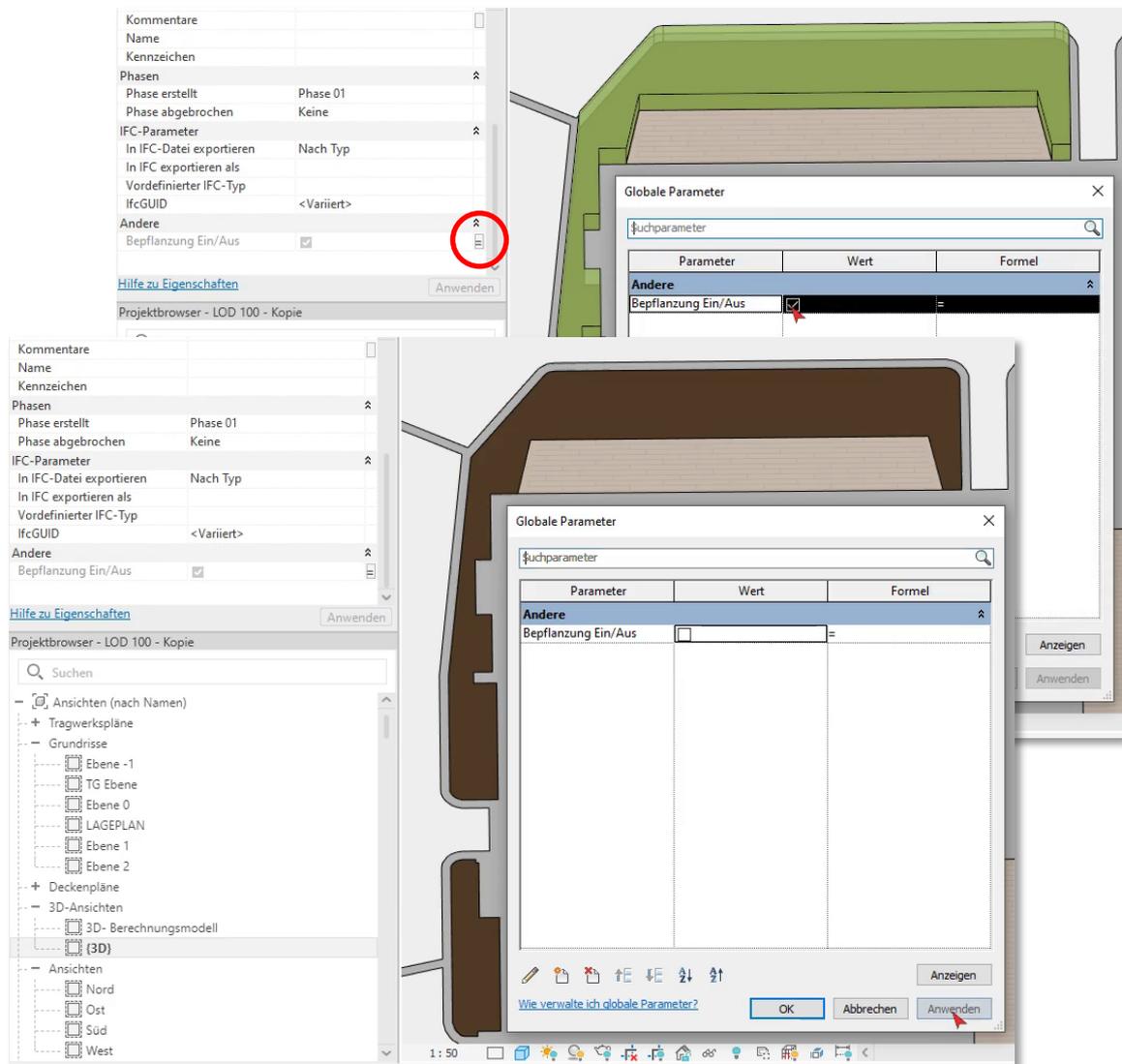


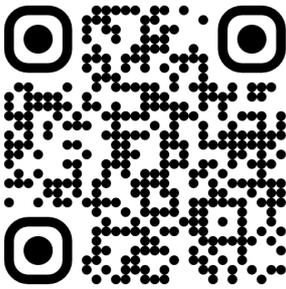
Abbildung 27: Steuerung der Sichtbarkeit über den verknüpften Globalen Parameter

6.2.2 Gehölzpflanzung

Bäume und Sträucher

Mit dem Erstellen der Pflanz- und Saatflächen im Projekt wurde zugleich die Grundlage für das Platzieren der Baummodelle in Revit geschaffen. Die ‚Toposolids‘ der Vegetationsflächen fungieren dabei als Basisbauteil und bestimmen die Position und Orientierung der Gehölzfamilien.

(JOCHENS 2023 f)



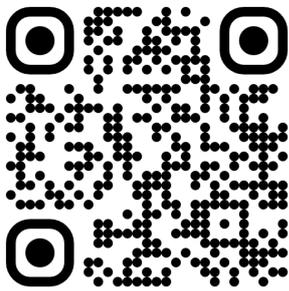
Für den **LOD 100** wird die in Kapitel 6.1.1 vorbereitete ladbare Familie in das Projekt importiert und anschließend an den vorgesehenen Gehölzstandorten platziert. Der entsprechende LOG 100 wird automatisch angezeigt, wenn für die Ansicht der ‚Detailierungsgrad: Grob‘ ausgewählt wird. Diese Pauschaleinstellung ist jedoch von Nachteil, wenn andere Modellelemente gleichzeitig in einem abweichenden Revit-Detailierungsgrad angezeigt werden sollen. In diesem Fall empfiehlt sich das Anlegen von sogenannten ‚Ansichtsvorlagen‘, in denen die Modellkategorie

‚Bepflanzung‘ mit den grafischen Vorgaben des groben Detailierungsgrades überschrieben wird. Dass das BIM-Modell eines gegebenen LODs Elemente mit unterschiedlichem Fertigstellungsgrad beinhaltet, gilt indes als Regelfall, da die einzelnen Bestandteile in unterschiedlichem Tempo ausgearbeitet werden (s. BORRMANN et al. 2021, S. 173). Über die Werte für Kronenhöhe und -breite sowie lichte Stammhöhe und Stammumfang kann die angezeigte Geometrie der Standardfamilie ‚Baum 3D - Ellipse‘ der Gestaltungsidee angepasst werden. Damit geht jedoch keine Verbindlichkeit für die tatsächliche Größe, Form oder exakte Position einher (s. BORRMANN et al. 2021, S. 171). Abbildung 31 ist ein Ausschnitt des Projektes mit platzierten Gehölzen für den LOD 100.

Um die Detaillierung der Bäume für das Entwurfsmodell mit dem **LOD 200** anzupassen, wird für die gewählte Ansicht der ‚Detailierungsgrad: Mittel‘ verwendet. Dem Fertigstellungsgrad entsprechend werden die Gehölzfamilien mit den erforderlichen Pflanzenteilen Krone, Stamm und Wurzelbereich angezeigt (vgl. REMY et al. 2021, S. 91). Die Darstellung entspricht den in Abbildung 18 (s. S. 37) gezeigten Elementen. Des Weiteren kann der Baumhabitus weiter den Entwurfsvorstellungen angepasst werden. Neben Breite und Höhe sowie Form der Krone können auch planerische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. So lässt sich je nach vorhandenem Standort ein passendes Wurzelmodell wählen oder eine Angleichung des Kronenansatzes an das Lichtraumprofil umsetzen. Wenngleich die Verlässlichkeit der Daten mit dieser Parametrisierung zunimmt, werden dennoch alle Informationen der Elemente des LOD 200 als annähernd betrachtet (s. BORRMANN et al. 2021, S. 171). Die Kombination der Vegetationsflächen und modellierten 3D-Bäume wird in Abbildung 32 bildlich dokumentiert.

Hecken und Baumreihen

Im Entwurf für die Außenanlagen des Beispielprojektes ‚Charlie Living‘ sind neben Baum-solitären ebenfalls zwei verschiedene Heckentypen sowie Baumreihen für den Straßenbereich vorgesehen. Für die Umsetzung in BIM soll möglichst ein einheitlicher Ansatz für die reihenweise Modellierung von Gehölzen entwickelt werden. Im Gegensatz zu der eingangs analysierten Branchensoftware hat Revit keine spezifischen Funktionen für die Mehrfachplatzierung von Bepflanzungselementen im Besonderen. Allgemein betrachtet verfügt das Programm jedoch durchaus über entsprechende Alternativen. Unter den Standardoptionen ist insbesondere das Modellierungstool ‚Geländer‘ hervorzuheben, welches sich in vielfältiger Weise anwenden lässt. Einerseits kann durch ein 2D-Profil und eine Pfadkurve ein Sweep-Volumenkörper für Hecken erzeugt werden (s. REMY et al. 2021, S. 96). Andererseits können Revit-Objekte entlang des Verlaufspfad in beliebigen Abständen vervielfältigt und punktuell platziert werden (s. CATELLIER 2017). Revit erlaubt zudem eine Verknüpfung der erstellten Hecken und Pflanzengruppen mit einem Basisbauteil, sodass auch eine Anpassung an Geländemodelle möglich ist (s. REMY et al. 2021, S. 96).



(JOCHENS 2023 g)

Daher wird das Tool in dieser Arbeit für das Erstellen von Hecken und Baumreihen des **LOD 100** verwendet. Für die Systemfamilie ‚Geländer‘ muss zunächst mindestens eine Revit-Familie angegeben werden, deren Vervielfältigung im Projekt beabsichtigt wird. Weil das Programm dabei ausschließlich Familien der Kategorie ‚Geländerpfosten‘ akzeptiert, wird der für den LOD 100 vorgesehene ‚Baum 3D - Ellipse‘ in eine solche Familiendatei geladen. Anschließend kann das Objekt im Dialog des ‚Geländer‘-Tools ausgewählt und in beliebiger Anordnung entlang einer Pfadkurve platziert werden (s. Abb. 28).

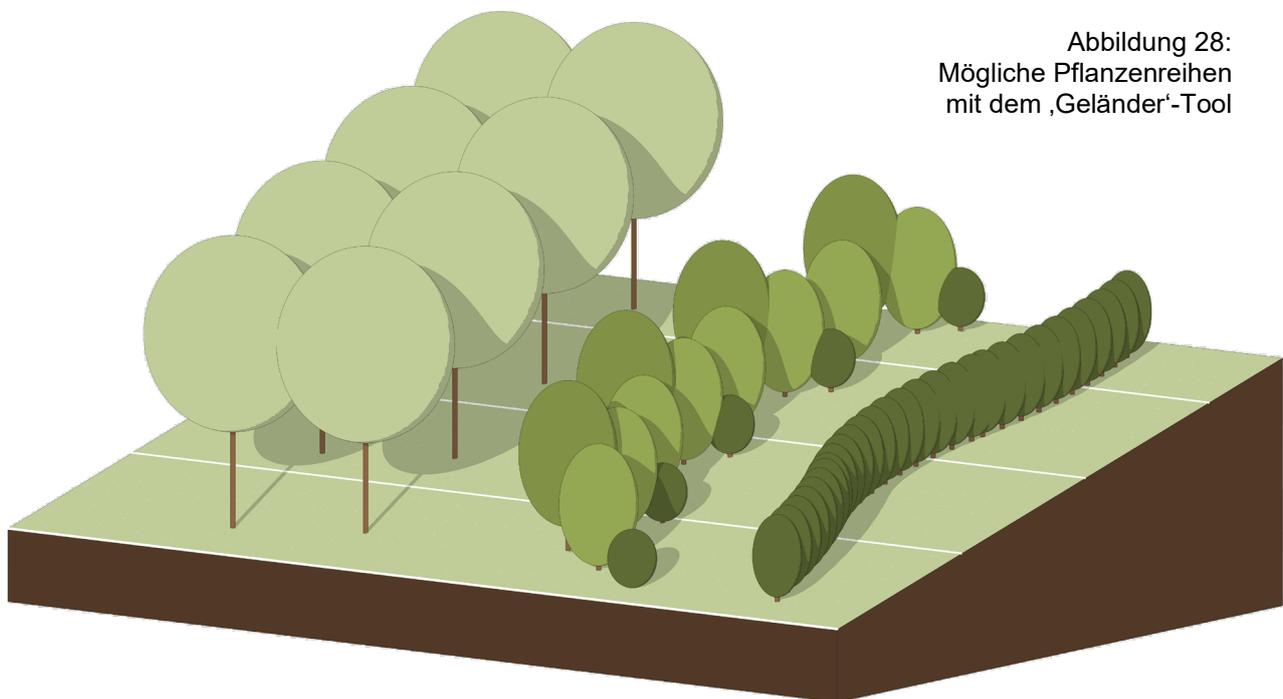


Abbildung 28:
Mögliche Pflanzenreihen
mit dem ‚Geländer‘-Tool

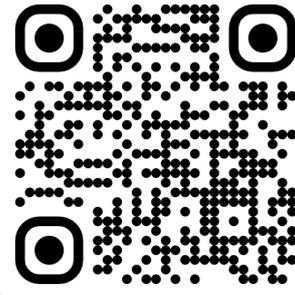
Neben den besagten Qualitäten der ‚Geländer‘-Funktion muss auch auf die Nachteile dieser Verwendung eingegangen werden. Zum einen ist nach dem Erstellen eines ‚Geländers‘ kein direkter Zugriff auf die einzelnen Bestandteile mehr möglich. Die duplizierte Gehölzfamilie kann zwar über den ‚Projektbrowser‘ weiterhin parametrisiert werden, lässt sich jedoch weder einzeln auswählen noch in Listen auslesen. Zum anderen wird das Verwalten von Pflanzendaten durch die Verwendung der zusätzlichen Bauteilkategorie ‚Geländer‘ erschwert. Zudem erlaubt Revit keine Verwendung von ‚Adaptiven Bauteilen‘ in ‚Geländern‘, sodass die parametrische Baumfamilie aus Kapitel 6.1.1 hier keine Anwendung finden kann. Für die weniger spezifischen Ansprüche an Geometrie und semantische Daten im LOD 100 genügt der beschriebene Workflow.

Allerdings sollen ab dem **LOD 200** alle Gehölze inklusive Hecken und Baumreihen dem gleichen modellierten Standard entsprechen. Somit wird eine Lösung in Dynamo entwickelt, mit der bereits erstellte ‚Geländer‘-Objekte in Revit gegen ‚Modellgruppen‘ ausgetauscht werden können (s. Abb. 29). Diese Gruppen bestehen aus einzelnen Exemplaren der parametrischen Baumfamilie aus Kapitel 6.1.1. Dazu ermittelt die Dynamo-Programmierung die genaue Position der einzelnen Bestandteile eines ‚Geländers‘ und projiziert die Koordinaten auf das verknüpfte Geländemodell. Im Anschluss platziert Dynamo eine ausgewählte Revit-Familie einschließlich ‚Adaptiver Bauteile‘ auf den dadurch erzeugten Einfügepunkten und passt die Orientierung der Wurzelbereiche der Geländeneigung an. Zuvor definierte Angaben zum Pflanzennamen werden ebenso für die neuen Exemplare übernommen wie die ausgelesene Länge der ‚Geländer‘-Familie. Das Skript unterscheidet zwischen Hecken, Baumreihen und Alleen. Je nach Wahl des Nutzers ermittelt Dynamo anschließend die Anzahl anderer ‚Modellgruppen‘ dieser Klassifizierung und nummeriert die erstellten Objekte. Die gruppierten Einzelpflanzen können abschließend in einer speziellen Bauteilliste für Gehölzgruppen ausgewertet werden (s. Abb. 30).

Abbildung 29:
Dynamo-Skript (s. Anhang 1 b)

Eingaben
Auswahl Hecke, Baumreihe oder Allee Auswahl Geländer-Familie Auswahl Gehölz-Familie Abfrage Geländer-Familie löschen
Positionen der Geländerpfosten-Familien
Basisbauteil kopieren Basisbauteil in positiver Z-Richtung verschieben Geometrie des Basisbauteils importieren Schnittpunkt Basisbauteil und Geländer ermitteln
Ermitteln Geländeoberfläche
Extrahieren der Gelände-Faces Filtern der Faces nach maximalen Z-Werten
Positionen der Gehölz-Familien definieren
Schnittpunkte auf Gelände projizieren Z-Koordinaten ermitteln UV-Orientierung der Punkte ermitteln Zweiten Einfügepunkt definieren
Ermitteln Objekttyp Gehölz-Familie
Boolean erzeugen: Ist Gehölz-Familie adaptiv?
Platzieren Gehölz-Familien
Platzieren auf Punkten falls nicht adaptiv Platzieren auf Punkten und Basisbauteil falls adaptiv
Importieren Gem. genutzter Parameter
Gruppenexemplar, Heckenlänge, Pflanze
Parametrisieren Gehölz-Familien
Nummerieren und Benennen Gehölzgruppe Gehölzgruppen-Namen in Zwischenablage kopieren Werte für Pflanze und Heckenlänge
Geländer-Familie löschen
Löschen des ausgewählten Geländers (optional)

(JOCHENS 2023 h)



<Gehölzgruppen>	
A	B
Pflanze	Anzahl (Stk.)
Baumreihe 1 89,503 m	
Populus simonii 'Fastigiata'	8
Baumreihe 2 89,500 m	
Populus simonii 'Fastigiata'	8
Hecke 1 15,300 m	
Taxus media 'Hilli'	31
Hecke 2 21,059 m	
Taxus media 'Hilli'	44
Hecke 3 41,160 m	
Taxus media 'Hilli'	84
Hecke 4 39,750 m	
Taxus media 'Hilli'	79
Hecke 5 22,719 m	
Taxus media 'Hilli'	47
Hecke 6 8,045 m	
Taxus media 'Hilli'	17
Hecke 7 8,067 m	
Taxus media 'Hilli'	17
Hecke 8 3,601 m	
Taxus media 'Hilli'	8
4,588 m	
Taxus media 'Hilli'	10

Abbildung 30: Objektauswahl durch Gehölzgruppenliste

Abbildung 31: Modellausschnitt LOD 100

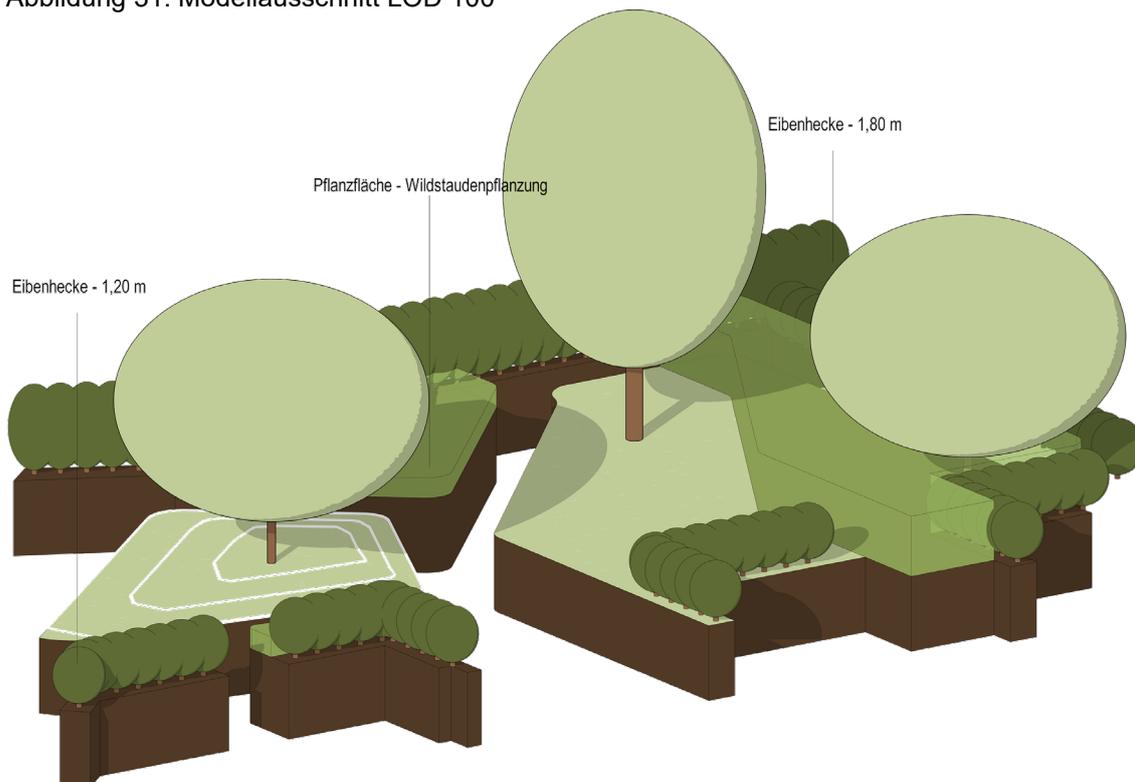


Abbildung 32: Modellausschnitt LOD 200



6.3 Revit-Projekt: Bepflanzungsplanung LOD 300-300+

In diesem Kapitel wird eine neue Projektdatei auf der Grundlage des Modells für den LOD 200 erstellt. Zusätzlich zur geometrischen und semantischen Detaillierung der Vegetationsflächen wird das BIM-Modell mit ersten verbindlichen Properties für die Gehölz-Familien bestückt. Schließlich wird die 3D-Ansicht mit Objekten zur konzeptionellen und fotorealistischen Darstellung in Revit ausgestattet, um eine Brücke zum Anwendungsfall „Visualisierungen“ (s. Abb. 2, S. 5) zu schlagen, der in dieser Arbeit jedoch nicht eingehender thematisiert werden kann.

6.3.1 Importieren von Pflanzendaten

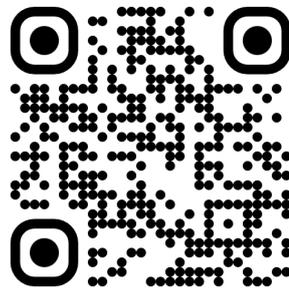
Das manuelle Einpflegen von Daten in das BIM-Projekt ist zeitaufwändig und fehleranfällig. Besonders beim Umgang mit Pflanzendaten hat sich in CAD-Programmen mit Branchenbezug die Verwendung von speziellen Pflanzendatenbanken als nützlich erwiesen. Für den nachfolgenden Workflow werden aus den Datenbanken ‚Die Stauden-DVD‘ und ‚PLANTUS Professional‘ erforderliche Informationen für das Bepflanzungsprojekt zusammengetragen und in eine gemeinsame Excel-Liste exportiert.

Für die Verwendung von Daten in BIM müssen darüber hinaus zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Jene Standardinformationen aus gängigen Pflanzendatenbanken sind art- bzw. typspezifisch. Dies bedeutet, dass alle Exemplare eines Objekttyps in BIM übereinstimmende Werte für die gegebenen Parameter erhalten. Beispielsweise werden allen Gehölz-Familien, welche ein digitales Abbild des Baumes *Populus simonii* ‚Fastigiata‘ sind, dieselben Werte für die Properties „deutscher_Name“, „botanischer_Name“, „Ueberdauerungsart“ (s. Abb. 15, S. 33) etc. zugewiesen. Andererseits enthalten BIM-Projekte diverse Properties mit Daten, die exemplar- bzw. objektspezifisch zugewiesen werden müssen. Bei Vegetation gilt dies im Besonderen für geforderte Informationen der „Bestandserfassung“ (s. Abb. 2, S. 5), aber auch für etwaige Angaben zu punktuellen Pflegemaßnahmen. Diese Attribute können nicht aus Pflanzendatenbanken übertragen werden. Aus diesem Grund werden zwei Programmierungen in Dynamo vorgenommen, die in Kombination eine Automatisierung beider Eingabeverfahren ermöglichen. Im Folgenden werden die Gehölz-Familien im Projekt mit Properties des Anwendungsfalls „Erstellen von Ausführungsplänen“ (ebd.) attribuiert.

Vegetationsparameter nach Anwendungsfall

Um Bepflanzungselemente in Revit mit Properties attribuiert zu können, müssen zunächst die entsprechenden Parameter ins Projekt geladen werden. Für diese Arbeit wurde eine TXT-Datei für ‚Gemeinsam genutzte Parameter‘ erstellt, die als externe Datengrundlage verwendet wird. Die darin enthaltenen Parameter können in Gruppen zusammengestellt und nach Bedarf über eine Projektdatei geladen werden. Dieser Vorgang ist grundlegend für alle weiteren Arbeitsschritte dieses Workflows. Das erste Dynamo-Skript soll dementsprechend ein automatisiertes Importieren der nach Anwendungsfall gruppierten Properties aus der TXT-Datei gewährleisten (s. Abb. 33).

Je nach Vorhaben kann im Dialogfenster des Skriptes zwischen Stauden- und Gehölzpflanzungen gewählt werden. Dynamo ermittelt daraufhin automatisch die Kategorien, denen die neuen Parameter zugewiesen werden sollen – in diesem Fall die Kategorie Bepflanzung. Des Weiteren ist eine der verfügbaren Gruppen für ‚Gemeinsam genutzte Parameter‘ aus der TXT-Datei auszuwählen. Für die Gehölz-Familien soll gemäß dem Anwendungsfall die Gruppe ‚AF14_Gehoeleze‘ gewählt werden (s. Abb. 34). Folglich identifiziert das Skript alle Parameter der angegebenen Gruppe und importiert sie in das Bepflanzungsprojekt. Das Eintragen exemplarspezifischer Daten für die importierten Parameter erfolgt in einer ‚Bauteilliste‘. Damit diese nicht händisch erstellt werden muss, wird der Vorgang von Dynamo übernommen. Die Liste wird automatisch nach dem ausgesuchten Anwendungsfall und der ausgewerteten Bauteilkategorie benannt und im Projektbrowser unter dem Gliederungspunkt ‚Bepflanzungsplanung‘ abgelegt. Alle relevanten Parameter für den Anwendungsfall 14 sind anschließend als Eingabefelder in der Liste verfügbar und bilden automatisch die aktuellen Werte der verwendeten Gehölz-Familien ab.



(JOCHENS 2023 i)

Eingaben
Auswahl Kategorien für Stauden oder Gehölze Auswahl Anwendungsfall/Parametergruppe
Details TXT für Gem. genutzte Parameter
TXT Parameter auslesen TXT Parametergruppen auslesen
Gem. genutzte Parameter importieren
nach angegebener Parametergruppe für angegebene Kategorien
Bauteilliste für Properties
Erstellen Bauteillisten für angegebene Kategorien Gliederung Projektbrowser festlegen
Eingabefelder für Bauteillisten
Vergleich neuer Parameter und Eingabefelder Felder nach Übereinstimmung erstellen

Abbildung 33: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 c)

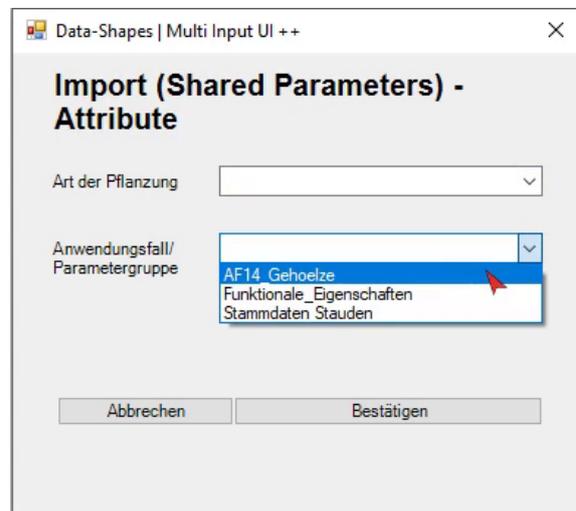
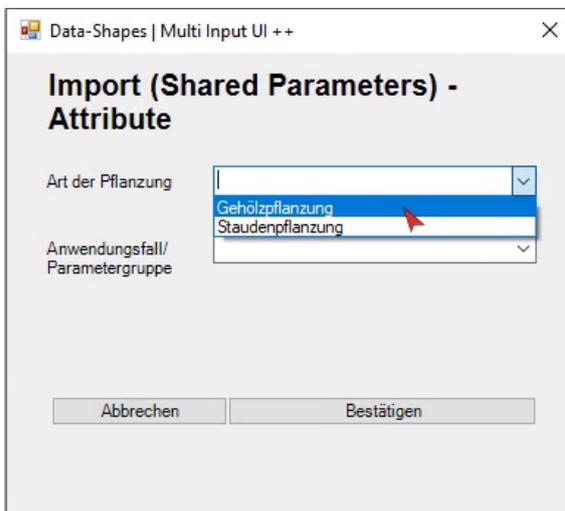


Abbildung 34: Benutzeroberfläche zum Starten des Algorithmus

Parametrisierung durch Excel und Schlüssellisten

Nachdem das Projekt nun über die notwendigen Parameter für den Anwendungsfall 14 verfügt, werden mittels Dynamo alle artspezifischen Pflanzendaten aus der vorbereiteten Excel-Datei übernommen und in Revit als Attribute verwendet (s. Abb. 36). Ziel ist das Erstellen einer sogenannten ‚Schlüsselliste‘. Dabei handelt es sich nicht um Listen, die der Auswertung von Modellelementen dienen. Vielmehr können in ‚Schlüssellisten‘ Abhängigkeiten hergestellt werden, die einem definierten Schlüsselwert eine Reihe anderer Parameterdefinitionen zuweisen. Wird einer Gehölz-Familie ein solcher ‚Schlüssel‘ zugewiesen, werden für das Objekt alle Parameter, welche in der Schlüsselliste geführt werden, mit den vorgegebenen Daten der Liste ausgefüllt. Dieses Vorgehen macht eine Zuweisung aller Pflanzendaten zugleich möglich und bietet den Vorteil, dass die Daten bereits vorliegen können, wenn noch keine Elemente im Projekt platziert oder modelliert wurden. In dieser Arbeit werden ‚Schlüssellisten‘ daher als Revit-interne Datengrundlage für Bepflanzungsobjekte verwendet.

Zunächst wird über die Benutzeroberfläche des Dynamo-Skriptes angegeben, für welche Kategorie die importierten Pflanzendaten als Abhängigkeiten definiert werden sollen. Zusätzlich erfolgt die Angabe des zu verwendenden Excel-Arbeitsblattes (s. Abb. 35). Dynamo erstellt eine neue ‚Schlüsselliste‘ mit dem Namen ‚Abhängigkeiten Pflanzendaten‘ und der gewählten Bauteilkategorie als Suffix. In Dynamo werden die verfügbaren Revit-Parameter mit den Spaltenüberschriften der Excel-Tabelle abgeglichen. Der Liste werden nur Parameter hinzugefügt, die in Excel vorhanden sind. Im Anschluss werden alle Datenzeilen aus Excel in der vorgegebenen Reihenfolge in die Revit-Schlüsselliste übernommen. Die Programmierung unterstützt alle verfügbaren Datentypen. Einerseits weist die ‚Schlüsselliste‘ der Gehölz-Familie dadurch alphanumerische Attribute zu, sobald für diese ein Schlüsselwert festgelegt wird. Andererseits steuert sie deren Geometrie über die vordefinierten Parameterdaten zum Pflanzenwachstum, Wurzeltyp und zur Kronenform (s. Abb. 37). Das Skript eignet sich außerdem zur Aktualisierung von Pflanzendaten. Bei mehrfacher Verwendung wird die zuvor genutzte ‚Schlüsselliste‘ mit den neuen Daten überschrieben. Falls zuvor bereits Elemente mit Schlüsselwerten versehen wurden, bleiben diese bestehen, sofern der ‚Schlüssel‘ auch in der aktualisierten Liste vorhanden ist.

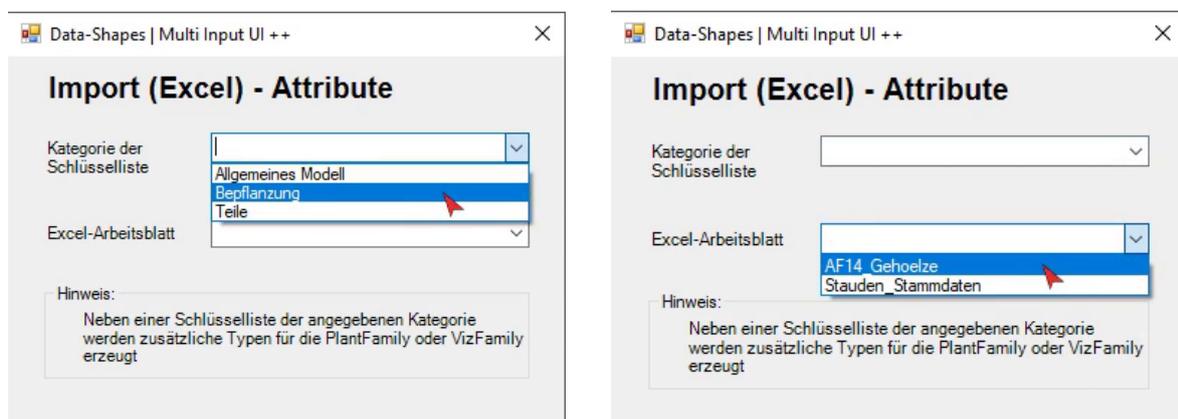


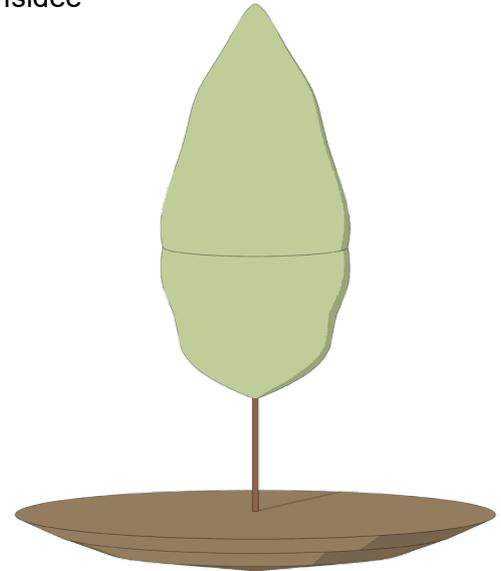
Abbildung 35: Benutzeroberfläche zum Starten des Algorithmus

Eingaben
Auswahl Kategorie für Schlüsselliste Auswahl Excel-Arbeitsblatt
Erstellen oder aktualisieren?
Name der neuen Schlüsselliste mit vorhandenen Listen vergleichen
Elemente mit Schlüsselwerten?
Identifizieren von Elementen mit Schlüsselwerten Identifizieren der Schlüsselwerte der Elemente
Vorhandene Schlüsselliste löschen
Löschen falls Name der neuen Schlüsselliste mit dem der vorhandenen Liste übereinstimmt
Daten-Import Excel
Import der Daten des angegebenen Arbeitsblattes
Erstellen neuer Schlüsselliste
Erstellen für angegebene Kategorie Gliederung Projektbrowser festlegen
Eingabefelder für Schlüsselliste
Vergleich Excel-Überschriften und Eingabefelder Felder nach Übereinstimmung erstellen Kürzel als Schlüsselwert festlegen
Extrahieren von Text-Daten
Identifizieren Gem. genutzter Parameter Identifizieren Parameter mit Datentyp Text Vergleich mit Excel-Überschriften Identifizieren der Textparameter in Excel
Datenzeilen anlegen
Datenzeilen und Text-Daten aus Excel übernehmen
Schlüsselliste ausfüllen
Identifizieren Parameter für andere Datentypen Auslesen der Excel-Tabelle für andere Datentypen Werte festlegen für Parameter anderer Datentypen
Neue oder alte Schlüssel?
Vergleich verwendeter Schlüsselwerte der gelöschten Liste mit Schlüsselwerten der neuen Liste
Alte Schlüssel übernehmen
Übereinstimmende Schlüsselwerte erneut zuweisen
Nur neue Schlüssel
Vergleich aller Schlüsselwerte der gelöschten Liste mit Schlüsselwerten der neuen Liste
Typen für Bepflanzungs-Familien
Liste für Bepflanzung, Teile oder Allg. Modell? Typen duplizieren für Pflanzenfamilien Neue Schlüsselwerte sind Typen-Namen Pflanzendaten sind Typenparameter

Abbildung 36: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 d)

Gehölz-Familie LOD 200

- Generisches Objekt: Baum
- Keine spezifischen Pflanzendaten
- Ungefähre Größe, Abmessungen und Position nach Entwurfsidee



Gehölz-Familie LOD 300

- Spezifisches Objekt:
Populus simonii, *Fastigiata*
- Pflanzendaten nach LOD und Anwendungsfall
- Größe, Abmessungen und Position nach
15-20 Jahren Wuchszeit

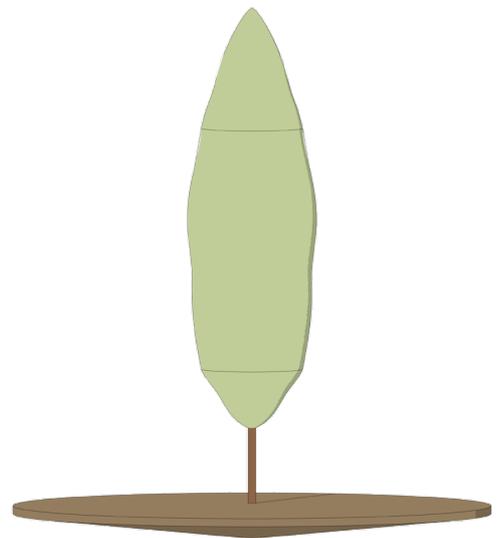


Abbildung 37: Gehölze LOD 200 und LOD 300

6.3.2 Detaillierung Vegetationsschicht

In den nächsten Arbeitsschritten werden auch die eingangs erstellten Vegetationsflächen an den LOD 300 angepasst. Nach dem Festlegen der exakten Positionen einzeln oder tuffweise zu pflanzender Stauden werden die Flächen für alle größeren Pflanzengruppen umrissen und daraufhin mit Objekten für die 3D-Ansicht bestückt.

Platzieren von Staudensymbolen

Bei der Platzierung von Symbolen im Bepflanzungsplan sowie für das Auslegen von Einzelpflanzen auf der Baustelle hat sich ein sukzessives Vorgehen nach Funktionstypen der Stauden bewährt. Für das Planungsbeispiel ‚Charlie Living‘ wurde stattdessen eine CAD-Grundlage mit den entsprechenden Pflanzenstandorten vorbereitet. Dadurch ist es möglich, mittels Dynamo viele Bepflanzungsobjekte zugleich im BIM-Projekt zu positionieren.

Voraussetzung dafür ist das vorherige Importieren von Daten für die Staudenpflanzung. Daher werden zur Vorbereitung die Arbeitsschritte aus Kapitel 6.3.1 wiederholt. In diesem Fall werden jedoch die ‚Gemeinsam genutzten Parameter‘ der Gruppe ‚Stauden_Stammdaten‘ (s. Abb. 38) verwendet und mit den Inhalten des gleichnamigen Excel-Arbeitsblattes definiert. Eine weitere Teilfunktion des Dynamo-Skriptes für den Excel-Import wurde bisher noch nicht textlich erwähnt, da diese ausschließlich beim Erstellen von ‚Schlüssellisten‘ für die Staudenpflanzung zum Tragen kommt. Hierbei werden auf Grundlage der erstellten Schlüsselliste Duplikate der Stauden-Familie aus Kapitel 6.1.3 angefertigt. Die Familientypen werden nach den jeweiligen Schlüsselwerten benannt – in dieser Arbeit nach den Pflanzenkürzeln. Dynamo liest die grundlegenden Wuchsparameter sowie den vordefinierten Funktionstyp der Stauden aus und fügt sie den duplizierten Familien als Typenparameter hinzu. Dieser Vorgang ist ebenfalls essentiell für das in Kapitel 6.4.2 erläuterte Erstellen und Platzieren von automatisierten Legenden.

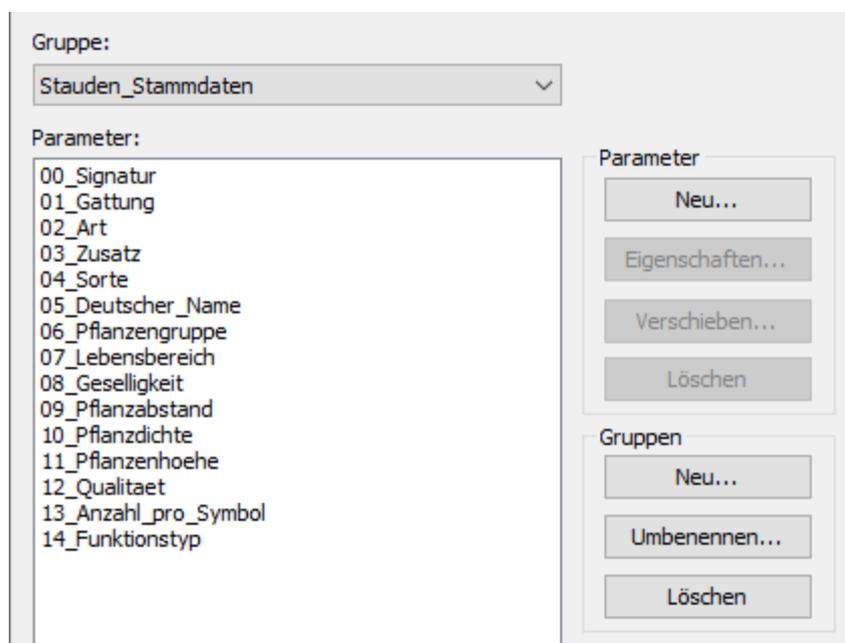


Abbildung 38: Übersicht Parametergruppe ‚Stauden_Stammdaten‘

Die folgende Programmierung (s. Abb. 40) wählt jene duplizierten Typen der Stauden-Familie aus, welche in der CAD-Grundlage mit einer Position versehen wurden. Über ein Dialogfenster kann nach dem Starten des Skriptes die Auswahl der zu platzierenden Pflanzen genau bestimmt werden. In der CAD-Datei wurde daher für jedes Staudensymbol ein Textfeld erzeugt und das entsprechende Kürzel der Pflanze eingetragen. Alle Text-Objekte desselben Kürzels wurden im Anschluss auf einem gemeinsamen Layer zusammengeführt. Nutzer können demnach über die Auswahl einzelner Layer in Dynamo festlegen, für welche Pflanzen die entsprechenden Symbol-Familien platziert werden sollen (s. Abb. 39).

(JOCHENS 2023 j)



Dynamo ermittelt dabei die wesentlichen Familientypen über den Inhalt der Textfelder. Eine Prüfung der exakten Schreibweise ist daher sowohl in der CAD-Datei als auch beim Erstellen der Schlüsselwerte in Revit obligatorisch. Die identifizierten Text-Objekte werden zudem hinsichtlich ihres Koordinatenursprungs untersucht und die ermittelten Punkte daraufhin auf die Vegetationsflächen projiziert. Zulässig sind Vegetationsflächen der Kategorien ‚Geländevolumenkörper‘ und ‚Geschosdecke‘.

Nach dem Platzieren der Stauden-Familien auf der erstellten Punkt-Geometrie werden die Elemente mit den jeweiligen ‚Geländevolumenkörpern‘ bzw. ‚Geschosdecken‘ verknüpft, sodass die modellierten ‚Abzugskörper‘ der Familie mit der Geometrie der Vegetationsflächen automatisch verschnitten wird (s. Kapitel 6.1.3). Des Weiteren muss die neuerlich erstellte ‚Schlüsselliste‘ mit den importierten Informationen zur Staudenpflanzung als Datengrundlage ausgewählt werden. Hierauf folgt in Dynamo das automatische Zuweisen von Attributen über die Schlüsselwerte.

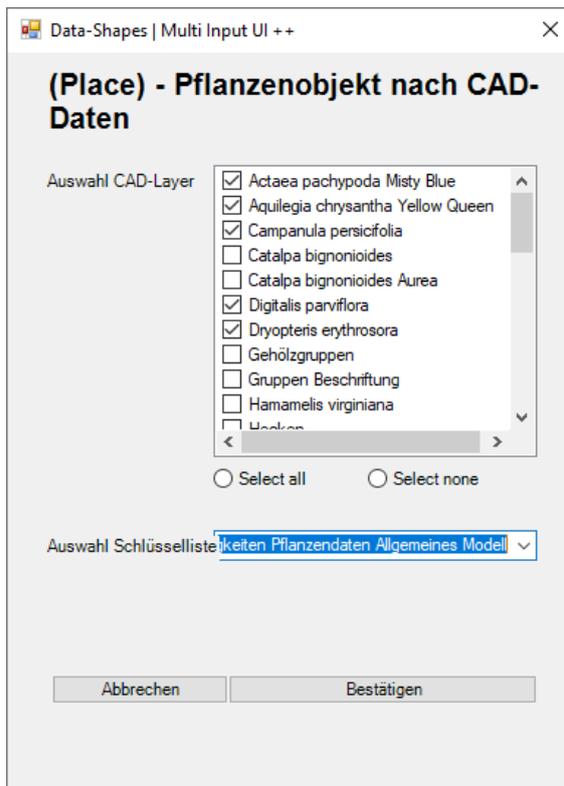


Abbildung 39: Dialogfenster Pflanzenauswahl

Eingaben
<ul style="list-style-type: none"> Auswahl CAD-Datei Auswahl Layer für Pflanzensymbole Auswahl Schlüsselliste als Datengrundlage
Platzierungspunkte ermitteln
<ul style="list-style-type: none"> Ursprung Text-Objekte in CAD Geometrie Vegetationsflächen importieren Vertikale Linien von Text zu Vegetationsflächen Schnittpunkte von Linien und importierter Geometrie
Stauden-Familie nach Text-Daten
<ul style="list-style-type: none"> Auslesen der Text-Objekte Auswahl der Stauden-Familie Familientypen nach Text-Daten filtern
Typen von Stauden-Familie platzieren
<ul style="list-style-type: none"> Auf Platzierungspunkten Vegetationsflächen als Basisbauteile
Schlüsselwerte zuweisen
<ul style="list-style-type: none"> Schlüssel der angegebenen Liste ermitteln Namen der Schlüssel und Typen vergleichen Bei Übereinstimmung Schlüssel zuweisen

Abbildung 40: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 e)

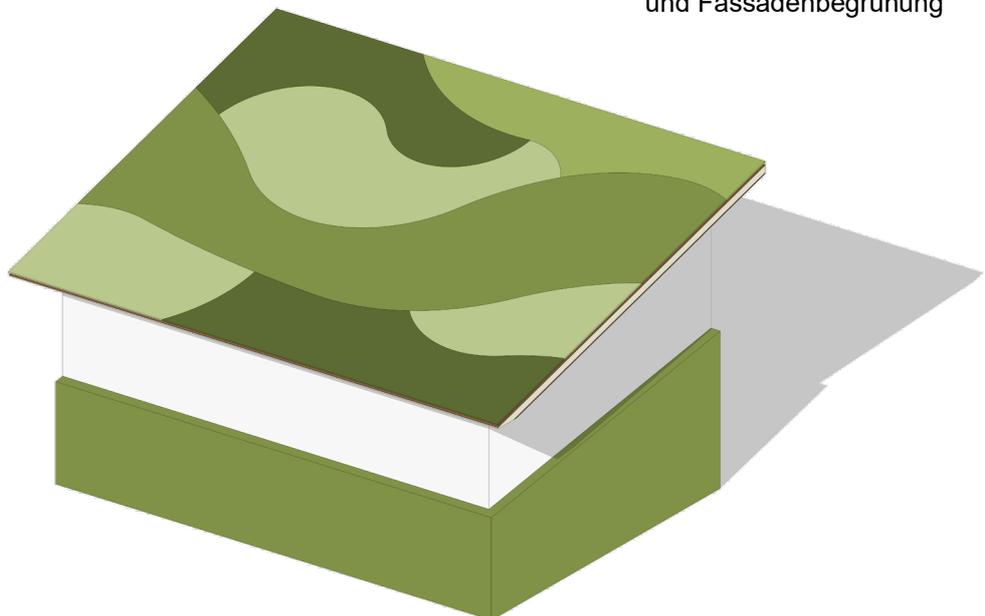
Gliederung in Pflanzengruppen

Das Zusammenfassen gruppierter Pflanzen derselben Art in Form schraffierter oder anderweitig gekennzeichnete Flächen ist in konventionellen Bepflanzungsplänen eine übersichtliche und bewährte Darstellungsvariante. Auch in Revit gibt es einige flächenbasierte Werkzeuge, die für diesen Zweck verwendet werden können. Verglichen mit dem Erstellen und Auswerten solitärer Bepflanzungselemente ist die Umsetzung flächiger Bepflanzungen im Modell jedoch eine Herausforderung (s. SCHMIDT 2014).

Die in Kapitel 6.2.1 erzeugten Pflanz- und Saatflächen wurden mit der Revit-Kategorie ‚Geländevolumenkörper‘ modelliert und verfügen bereits über eine Vegetationsschicht für die niedrigeren Fertigstellungsgrade. Für eine differenzierte Bepflanzungsplanung und somit für ein Ausführungsmodell des LOD 300 ist diese Darstellung jedoch nicht ausreichend. Daher werden die ‚Subdivision‘-Elemente der Vegetationsschicht im aktuellen Modell entfernt und nur die ‚Geländevolumenkörper‘ der Substratschicht erhalten.

Ebenso wie andere Revit-Objekte haben auch ‚Geländevolumenkörper‘ das Potential, in Teilelemente gegliedert zu werden. Diese ‚Teile‘ gehören einer eigenen Bauteilkategorie an und „können unabhängig voneinander beschriftet, gefiltert, exportiert und in Bauteillisten aufgenommen werden“ (AUTODESK o. J. (k)). Außerdem lassen sich ihnen über abweichende Revit-Materiale unterschiedliche Schraffuren zuweisen. Teilelemente erweisen sich somit als ideale Kategorie für die verschiedenen Pflanzbereiche pro Art innerhalb einer übergeordneten Flächenpflanzung. Da das Erzeugen von ‚Teilen‘ auch auf der Grundlage von Modellelementen der Kategorien ‚Dächer‘ und ‚Wände‘ möglich ist, kann auf diese Weise ebenfalls die Vegetation für Dach- oder Fassadenbegrünungen erstellt werden (s. Abb. 41). Entgegen der Verwendung anderer flächenbasierter Modellierungsfunktionen in Revit stellt der nachfolgende Workflow somit keine Insellösung dar.

Abbildung 41:
Teilelemente für Dach-
und Fassadenbegrünung



Im bisherigen Verlauf der Arbeit wurden unlängst Pflanzendaten für Gehölz-Familien (Kategorie ‚Bepflanzung‘) und Stauden-Familien (Kategorie ‚Allgemeines Modell‘) aus Excel übernommen. Da für die zu konstruierenden Pflanzenflächen in diesem Kapitel jedoch Revit-Listen der Kategorie ‚Teile‘ benötigt werden, wird der Daten-Import aus Kapitel 6.3.1 erneut ausgeführt und für die zu erstellende ‚Schlüsselliste‘ die Kategorie ‚Teile‘ ausgewählt (s. Abb. 42). Wie bereits im Abschnitt ‚Platzieren von Staudensymbolen‘ beschrieben, wird auch in diesem Fall die Funktion zum Duplizieren von Familientypen im Dynamo-Skript ausgelöst. Allerdings wird durch die Auswahl der Kategorie ‚Teile‘ im Algorithmus eine andere Familie zum Vervielfältigen ausgewählt. Statt für die zuvor verwendete Stauden-Familie erstellt das Programm nun neue Typen für die Funktionstypen-Familie aus Kapitel 6.1.2. Diese Elemente verfügen über keinen integrierten ‚Abzugskörper‘ und werden ausschließlich für die 3D-Darstellung der Pflanzengruppen am Ende dieses Kapitels benötigt.

Für das Erstellen der Teilelemente muss zunächst einer der verbliebenen ‚Geländevolumenkörper‘ der Substratschicht ausgewählt werden. Im Anschluss wird im Reiter ‚Ändern‘ der Befehl ‚Teilelemente erstellen‘ ausgeführt. Dadurch stehen in der Befehlsleiste neue Funktionen zur Auswahl. Über ‚Teilelemente unterteilen‘ kann abschließend eine Skizze für die Gliederung der Vegetationsfläche angefertigt werden. Die Flächenbegrenzungen der einzelnen Pflanzengruppen wurden im Voraus auf einem Layer der CAD-Grundlage skizziert und können dadurch über das Werkzeug ‚Linien auswählen‘ in Revit-Kurven umgewandelt werden (s. Abb. 43).

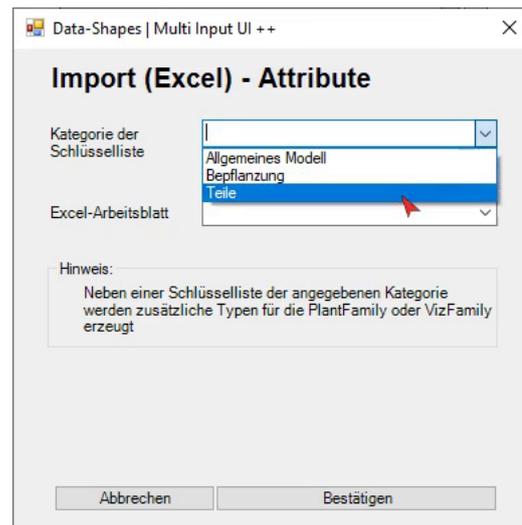


Abbildung 42: Dialogfenster Daten-Import

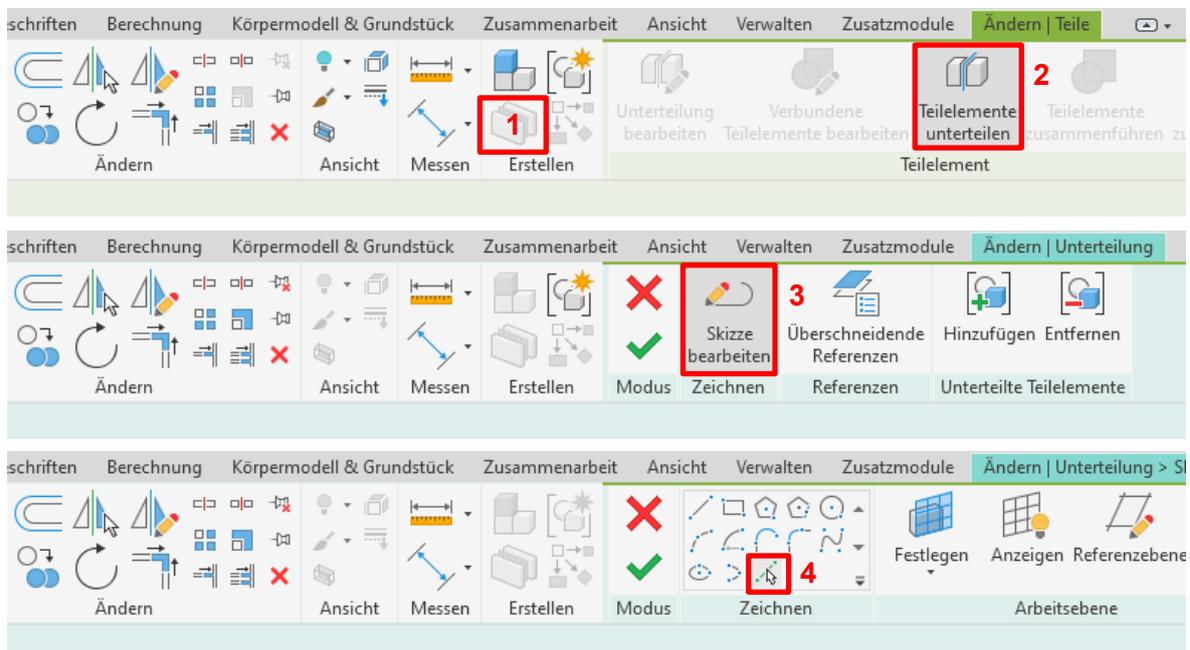


Abbildung 43: Erstellen von Teilelementen aus ‚Geländevolumenkörpern‘



(JOCHENS 2023 k)

Sobald alle Vegetationsflächen unterteilt wurden, müssen den jeweiligen Abschnitten die ‚Schlüssel‘ der vorgesehenen Gruppenbepflanzung zugewiesen werden. Zu diesem Zweck wurde eine Programmierung entwickelt, welche anhand der Text-Daten eines Layers der verlinkten CAD-Datei die entsprechenden Schlüsselwerte automatisch einträgt (s. Abb. 44). Darüber hinaus soll das Skript allen ‚Teilen‘ mit übereinstimmendem Pflanzen-Schlüssel je eines von neun vorbereiteten Revit-Materialien für die Schraffurdarstellung im Bepflanzungsplan zuteilen.

Die ersten ablaufenden Aktionen in Dynamo ähneln der beschriebenen Methodik im Abschnitt ‚Platzieren von Staudensymbolen‘ zu Beginn des Kapitels. Im Dialogfenster werden die CAD-Datei und der Beschriftungslayer für die Gruppenpflanzung angegeben. Zudem wird die neu erstellte ‚Schlüsselliste‘ für die Kategorie ‚Teile‘ als Datengrundlage bestimmt. Dynamo zeichnet zunächst eine Hilfskonstruktion vertikaler Linien und berechnet deren Schnittpunkte mit der vorhandenen Geometrie der Teilelemente im Modell. Dadurch kann die Zuordnung der Pflanzen und Schlüsselwerte eins-zu-eins ermittelt werden. Zugleich wird der Inhalt des Material-Browsers in Revit auf Einträge mit der Zeichenfolge ‚_PM‘ überprüft. Dabei handelt es sich um die vordefinierten Pflanzen-Materialie, mit denen die ‚Teile‘

ausgestattet werden sollen (s. Abb. 45). Aus der Liste der identifizierten Materiale wird nun eine zufällige Auswahl für alle Pflanzen getroffen. Abschließend werden allen Teilelementen der vorgesehene Schlüsselwert in Form eines Kürzels und ein eindeutiges Material zugewiesen.

Eingaben
Auswahl CAD-Datei Auswahl Layer für Gruppenbeschriftung Auswahl Schlüsselliste als Datengrundlage
CAD-Daten nach Kürzeln sortieren
Ermitteln von Pflanzenkürzeln aus Textfeldern Ermitteln des Ursprungs der Text-Objekte in CAD
Teilelemente identifizieren
Ermitteln der Bepflanzungs-Teile Importieren der Teile-Geometrie
Platzierungspunkte ermitteln
Vertikale Linien von Text zu Vegetationsflächen Schnittpunkte von Linien und importierter Geometrie
Abhängigkeit von Basisbauteil lösen
Deaktivieren des Materials nach Original
Materiale randomisieren
Filtern nach Pflanzen-Materialien Zufällige Auswahl nach Anzahl eindeutiger Kürzel
Schlüssel und Material zuweisen
Schlüssel der angegebenen Liste ermitteln Namen der Schlüssel mit Kürzeln vergleichen Bei Übereinstimmung Schlüssel zuweisen Materiale zuweisen

Abbildung 44: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 f)

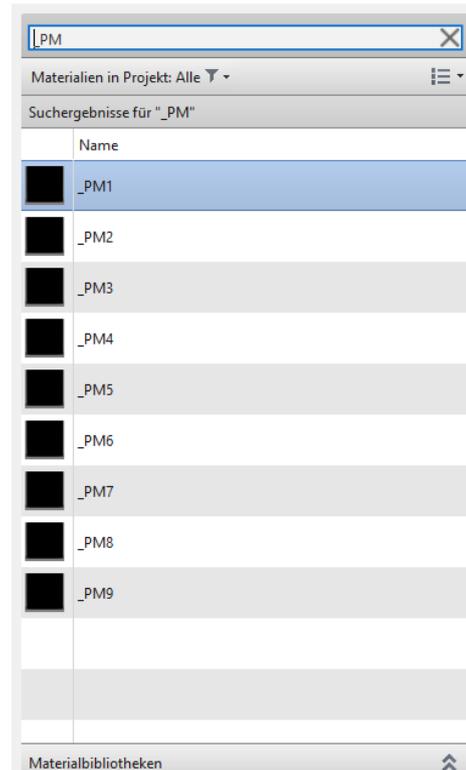


Abbildung 45: Pflanzenmateriale ‚_PM‘

Korrektur der Pflanzengruppen

Weil die generierten Teilelemente in Revit nicht als separate Typen vorliegen, kann es indes aufwändig sein, einmal definierte Schlüsselwerte für alle Pflanzengruppen einer Art nachträglich wieder zu ändern. Die entsprechenden ‚Teile‘ müssten einzeln ausgewählt und manuell mit neuen Schlüsselwerten versehen werden. Um diesen Vorgang zu automatisieren, wurde ein zweites Skript in Dynamo angefertigt (s. Abb. 46). Zusätzlich zum Austauschen der Pflanzendaten für alle Teilelemente einer Art kann mit der Programmierung auch eine einzelne Pflanzfläche ausgewählt werden. Sofern für die neue Zuordnung eine Pflanze ausgesucht wird, deren ‚Schlüssel‘ bereits im Projekt verwendet wird, passt Dynamo die Schraffur des Teilelements dem Material der anderen Pflanzflächen automatisch an. Abbildung 47 zeigt die Eingabefenster zum Ausführen des Algorithmus.

Abbildung 46: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 g)

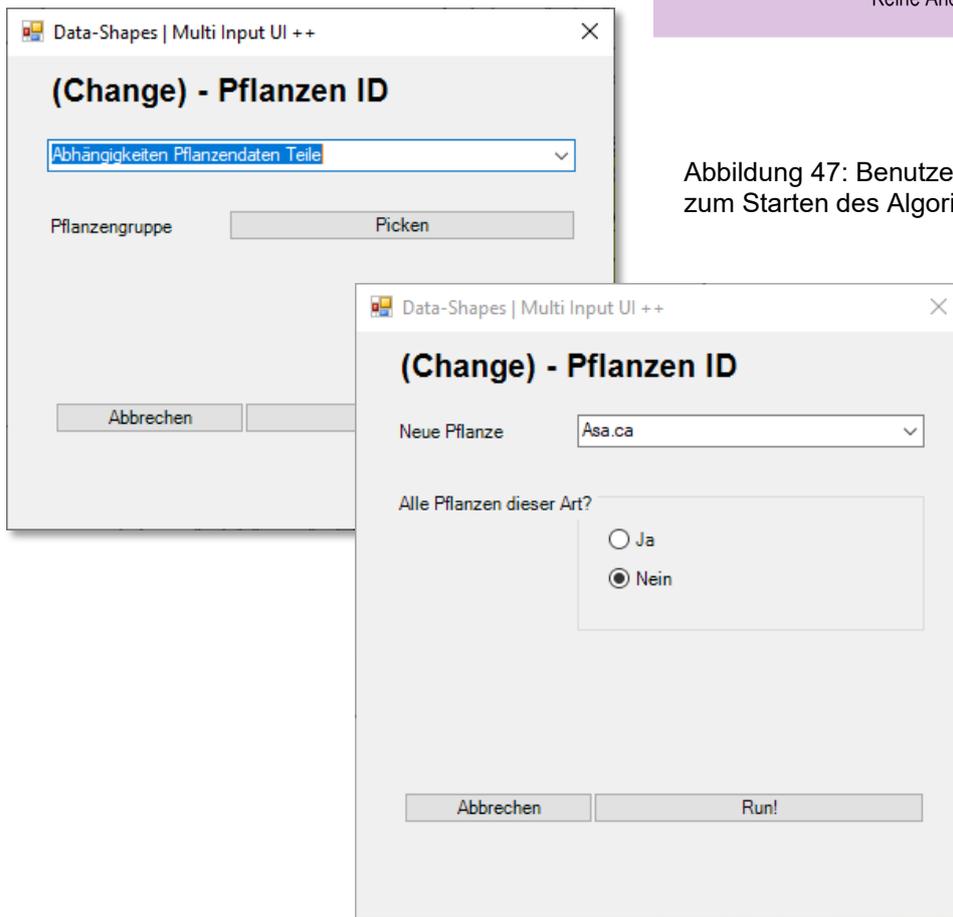
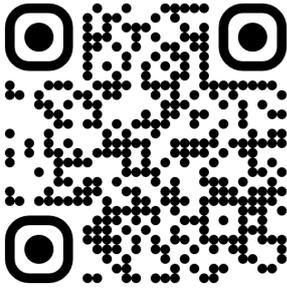


Abbildung 47: Benutzeroberfläche zum Starten des Algorithmus



(JOCHENS 2023 I)

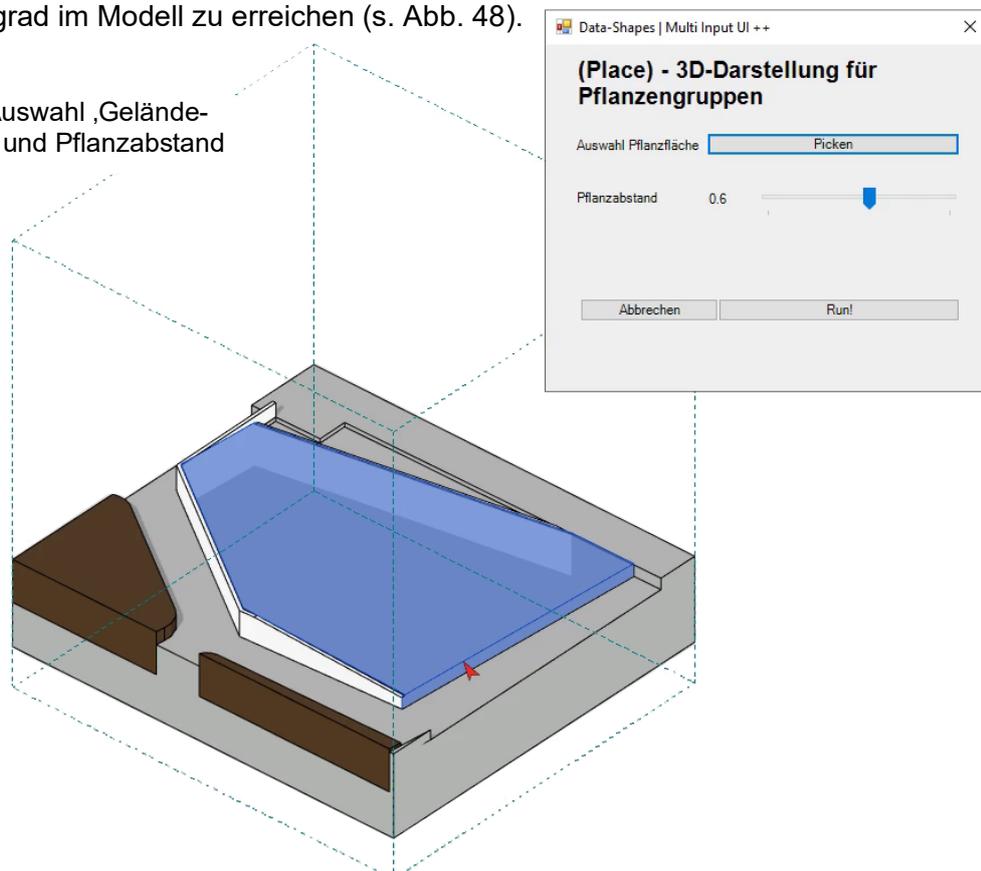
3D-Pflanzen nach Funktionstypen

Mit dem Modellieren der Teilelemente für flächig eingesetzte Pflanzengruppen wurden die vorgesehenen Vegetationsobjekte für den LOD 300 vervollständigt. Auf dieser Grundlage können bereits Mengenermittlungen durchgeführt, Bepflanzungspläne abgeleitet und Kosten kalkuliert werden. Der folgende Workflow ist eine optionale Weiterentwicklung des Modells für den LOD 300+ nach Kapitel 5.

Bisher tragen ausschließlich die platzierten Staudensymbole und Gehölz-Familien zu einer dreidimensionalen Darstellung des Pflanzkonzeptes bei. Die zuvor erzeugten Teilelemente enthalten zwar alle notwendigen semantischen Daten für die Bepflanzungsplanung, wurden jedoch mit einem sehr niedrigen LOG modelliert. In der 3D-Ansicht wirkt das Modell somit unvollständig, insbesondere da nur ein geringer Anteil der Pflanzen Aufschluss über die eingepflanzten Funktionstypen sowie die räumliche Wirkung und Höhenstaffelung der Pflanzung gibt (s. Abb. 50). Während bei dieser reduzierten Modellierung Vorteile für die Dateigröße und die Bearbeitbarkeit bestehen, bietet eine detailliertere Variante zudem erweiterte Optionen für die Visualisierung der Bepflanzungs idee.

Im Folgenden wird daher eine geometrische Detaillierung der Vegetationsflächen angestrebt. Zu diesem Zweck wird eine Programmierung verwendet, welche für alle erstellten Pflanzengruppen spezifische Exemplare der Funktionstypen-Familie aus Kapitel 6.1.2 platziert (s. Abb. 49). Es ist nicht vorgesehen, ein Familienobjekt für jede Einzelpflanze zu setzen, die auf der Baustelle ausgelegt werden soll. Da für die Auswertung des Modells weiterhin die Pflanzendaten der erstellten ‚Teile‘ verwendet werden, ist dies auch nicht nötig. Stattdessen kann ein einheitlicher ‚Pflanzabstand‘ definiert werden, um den gewünschten Detaillierungsgrad im Modell zu erreichen (s. Abb. 48).

Abbildung 48: Auswahl ‚Geländevolumenkörper‘ und Pflanzabstand



Die Grundüberlegungen dieses Skriptes basieren auf einem Workflow, der bereits 2016 im Blog ‚landarchBIM‘ von Lauren Schmidt beschrieben wurde (vgl. SCHMIDT 2016 b). Dementsprechend wurden zudem einige benutzerdefinierte Blöcke aus dem Dynamo-Paket der Autorin verwendet und für die Ziele dieser Programmierung überarbeitet. Nachdem über ein Dialogfenster die zu detaillierende Vegetationsfläche als ‚Geländevolumenkörper‘ ausgewählt wurde (s. Abb. 48), werden zunächst die ‚Teile‘ des Elementes identifiziert und ihr jeweiliger Schlüsselwert ausgelesen. Für jedes verwendete Kürzel wird in Dynamo anschließend ein gleichnamiger Typ der Funktionstypen-Familie ermittelt. Parallel erzeugt das Programm ein trianguläres Punktraster, welches sich in einem benutzerdefinierten Abstand über die gesamte Vegetationsfläche erstreckt. Basierend auf den Umgrenzungen der einzelnen Teilelemente kann Dynamo die erstellten Punkte nun den jeweiligen Pflanzengruppen zuordnen. Abschließend werden auf allen Punkten jene Exemplare der Funktionstypen-Familie platziert, deren Typenbezeichnung mit dem ‚Schlüssel‘ der dortigen Teilelemente übereinstimmt. Für die erstellten Objekte wird der ‚Geländevolumenkörper‘ automatisch als Basisbauteil festgelegt, sodass die Familien exakt auf der vorhandenen Topografie positioniert werden. Das Skript funktioniert standardmäßig für ‚Geländevolumenkörper‘, auf denen zuvor keine Stauden-Familien platziert wurden. Falls sich dennoch Exemplare der Stauden-Familie auf der Fläche befinden, werden die Punkte des Rasters an den entsprechenden Stellen ausgespart und die Lücken zwischen den vorhandenen Familien ‚angepflanzt‘. Ebenso wie auf ‚landarchBIM‘ beschrieben, ist dieses Skript ausgesprochen rechenintensiv und sollte daher nur mit Vorsicht verwendet werden (s. SCHMIDT 2016 b). Das Modell wird in Abbildung 51 im LOD 300+ dargestellt.

Eingaben
Auswahl Toposolid Auswahl Pflanzabstand
Planare Kopie des Toposolids
Auf Ebene 0 kopieren Höhenversatz von Ebene entfernen Form zurücksetzen
Stauden-Familien auf Toposolid-Kopie?
Identifizieren von Elementen auf Toposolid Boolean erzeugen: Elemente auf Toposolid? Löschen der Elemente
Abmessungen Stauden-Familien
Koordinatenursprung der Stauden-Familien ermitteln Z-Wert der Stauden-Familien auf 0 setzen Radius der Abzugskörper berechnen Kreise mit Radius in Ursprung zeichnen Kreise mit Punkten unterteilen
Teilelemente für Bepflanzung
Auswahl nur Teile mit Layer-Index = 1 Auswahl nur Teile ohne eigene Unterteilungen
Umgrenzungen der Teile
Oberfläche der Teile ermitteln Umgrenzungen der Oberfläche ableiten
Trianguläres Punktraster
Benutzerdefinierte Blöcke by Lauren Schmidt (angepasst durch Verfasser)
Platzierungspunkte festlegen
Teile-Umgrenzungen mit Polygonen nachzeichnen Welche Punkte liegen innerhalb welcher Polygone? Kreis-Umgrenzungen mit Polygonen nachzeichnen Welche Punkte liegen innerhalb der Polygone? Nur Punkte außerhalb der Kreis-Polygone festlegen
Typen der Funktionstypen-Familie
Schlüsselnamen der Teile auslesen Gleichnamige Familientypen auswählen
Funktionstypen-Familie platzieren
Auf Platzierungspunkten Vegetationsflächen als Basisbauteile Toposolid-Kopie löschen

Abbildung 49: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 h)

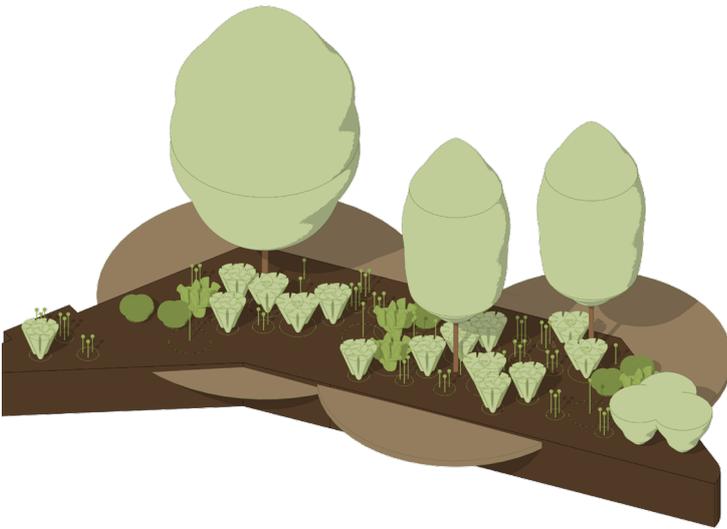


Abbildung 50: Modellausschnitt LOD 300

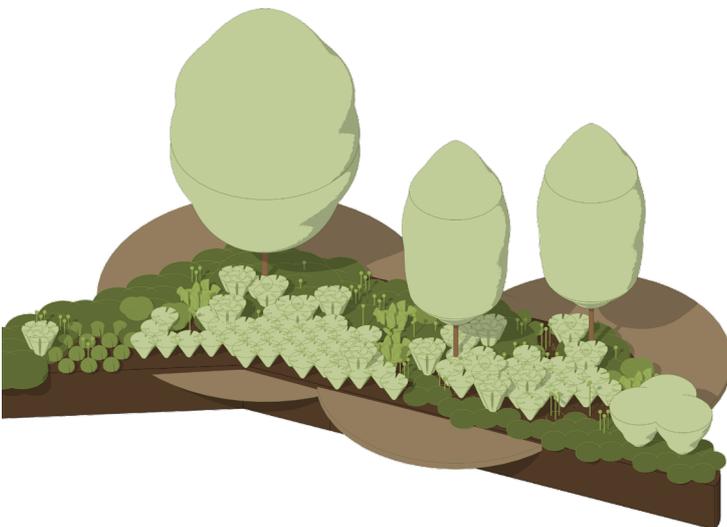
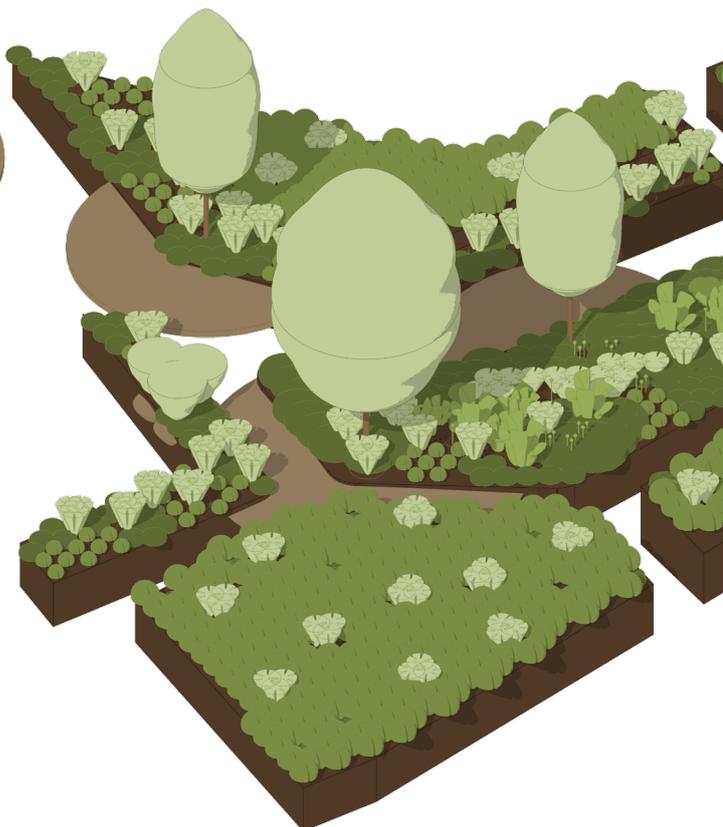


Abbildung 51: Modellausschnitt LOD 300+





6.4 Revit-Projekt: Ableiten von Plänen

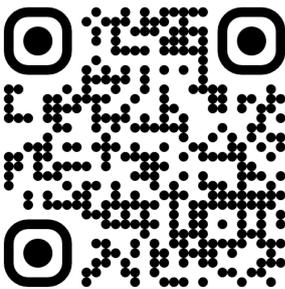
Das Ableiten von 2D-Plänen ist eine wesentliche Aufgabe innerhalb der BIM-Planung. Im Rahmen dieses Bepflanzungsprojektes wurden bereits alle notwendigen geometrischen und semantischen Daten für den Anwendungsfall „Erstellung von Ausführungsplänen“ (s. Abb. 2, S. 5) zusammengetragen. In diesem Kapitel wird schließlich die Modellierung hinsichtlich ihrer Eignung für das Erstellen von technischen Bepflanzungsplänen überprüft.

6.4.1 Beschriftung und instruktive Planbestandteile

In der Datenbank des Projektes sind die meisten der spezifischen Pflanzendaten vorhanden, die für die Planbeschriftung von Bedeutung sind. Diese Informationen können zwar in den zuvor erstellten Listen ausgelesen werden, jedoch noch nicht in den standardmäßigen **Beschriftungen**, die sich mit Revit erzeugen lassen. Dazu bedarf es entweder der Anpassung oder der neuen Erstellung von Beschriftungsfamilien. Die Vegetationsobjekte in dieser Arbeit sind in Revit verschiedenen Kategorien zugeordnet. Da für die Beschriftung des Planes die Funktion ‚Nach Kategorie beschriften‘ verwendet werden soll, sind somit unterschiedliche Beschriftungsfamilien erforderlich. Die nachfolgende Übersicht beschreibt daher die erstellten Typen der Beschriftungsfamilien für Objekte der Kategorien ‚Bepflanzung‘, ‚Allgemeines Modell‘ und ‚Teile‘ (s. Tabelle 8). Mit dem Befehl ‚Alle beschriften‘ lassen sich alternativ ebenfalls alle Modellelemente einer Kategorie zugleich beschriften.

Im Bepflanzungsplan sind Direktbeschriftungen mit Namenskürzeln aufgrund der Platzersparnis sehr verbreitet. Die in den vergangenen Kapiteln verwendeten Kürzel der Schlüsselwerte lassen sich jedoch in Revit nicht für Beschriftungsfamilien nutzen. Einzig ‚Gemeinsam genutzte Parameter‘ sind zusätzlich zu den systemeigenen integrierten Parametern möglich. Aus diesem Grund werden den drei Kategorien je ein solcher Parameter zur Angabe des Kürzels hinzugefügt. Dieser Umstand ermöglicht es zugleich, Kürzel als Signaturen zu verwenden, die sich von den Schlüsselwerten abheben. Durch eine kürzere Bezeichnung können somit auch weniger große Symbole mit einer Signatur in der Beschriftung versehen werden (s. Abb. 52). Für Symbole, deren Darstellung im angestrebten Maßstab keine Beschriftung zulässt, kann auf das Eintragen eines Wertes für den ‚Gemeinsam genutzten Parameter‘ verzichtet werden.

(JOCHENS 2023 m)



Zusätzlich zu den vordefinierten Pflanzenparametern erlaubt Revit auch eine Darstellung von Parameterkombinationen in Beschriftungen. So wird der vollständige botanische Pflanzenname in den Beschriftungsfamilien aus den Werten der Parameter für Gattung, Art, Zusatz und Sorte zusammengesetzt. Auch eine Kombination der Parameter mittels mathematischer Formeln wird unterstützt. Durch eine automatische Berechnung ermittelt Revit somit die erforderliche Staudenanzahl für die flächigen Pflanzengruppen der Teilelemente (s. Tabelle 8).

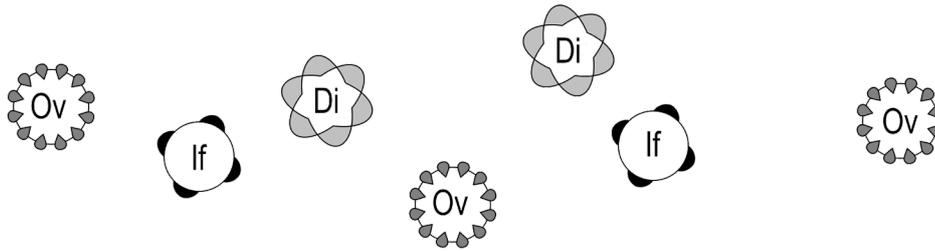


Abbildung 52: Staudensymbole mit verkürzter Signatur in der Beschriftung

	Datentyp	Parametername	Formel	Beispiel
Bepflanzung Baumfamilien	Text	botani- scher_Name	–	Catalpa bignonioides
	Text	Signatur	–	Cata.big
Allgemeines Modell Symbolfamilien	Text	Signatur	–	Ov
Teilelemente Pflanzengruppen	Text	–	Gattung + Art + Zusatz + Sorte	Asarum caudatum
	Text	Signatur	–	Asa.ca
	Zahl	Anzahl	$\text{round}(\text{Fläche} \times (\text{Pflanzdichte} \div 1\text{m}^2))$	317_
	Zahl	Pflanzdichte	–	16/qm

Tabelle 8: Beschriftungsfelder der erstellten Familien (vereinfachte Parameternamen)

Nachdem alle Bestandteile der Bepflanzung benannt worden sind, wird in der Ansicht ein **Nordpfeil** platziert. Entsprechende Symbolfamilien lassen sich in der Revit-Bibliothek im Verzeichnis ‚Beschriften-Symbol-Nordpfeile‘ auswählen und in das Projekt laden. Vor dem Platzieren ist zu prüfen, ob sich die Zeichnung im Modus ‚Geographischer Norden‘ befindet. Andernfalls muss dieser im Eigenschaftfenster für den Parameter ‚Ausrichtung‘ eingestellt werden. Für die Vorbereitung des beabsichtigten Planlayouts kann die Ansicht im Anschluss beliebig rotiert und zugeschnitten werden.

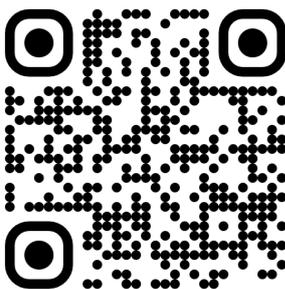
Außerdem werden die Pflanzflächen mithilfe eines **Maßrasters** untergliedert, sodass die genaue Position der Pflanzen im Plan stets ablesbar ist. In dieser Arbeit wurde für ein Raster von 2,00 x 2,00 m ein ‚Füllmuster‘ erstellt. In der Standardvorlage von Revit 2024 stehen einige rasterförmige ‚Füllmuster‘ zur Verfügung, die sich dafür eignen oder deren Mustereigenschaften in wenigen Schritten für diese Nutzung angepasst werden können. Für eine verbesserte Lesbarkeit des Bepflanzungsplans wird das erstellte ‚Füllmuster‘ direkt im Material-Browser verwendet. Dabei wird bei allen vordefinierten Materialien der Teilelemente das entsprechende Raster für den Vordergrund des ‚Oberflächenmusters‘ eingestellt. Wird die pflanzenspezifische Schraffur als Muster für den Hintergrund definiert, so werden Pflanzschraffur und Raster im Plan zugleich angezeigt.

Zur besseren Handhabung auf der Baustelle wird dem fertigen Plan abschließend noch ein **Maßstabbalken** hinzugefügt. Die Programm-Bibliothek verfügt nicht über geeignete Familien für diesen Zweck. In dieser Arbeit wurde stattdessen eine eigene Familie mit der Vorlagendatei für die Kategorie ‚Allgemeine Beschriftung‘ erstellt.

6.4.2 Erstellen und Aktualisieren von Legenden

Die permanente Verfügbarkeit aktueller Modelldaten in Revit-Bauteillisten bietet ein großes Potential beim Anfertigen von Legenden für den Bepflanzungsplan. In den betreffenden Listen können alle Parameterwerte des Modells, die für die Pflanzung auf der Baustelle benötigt werden, abgeleitet und in übersichtlicher und informativer Weise angeordnet werden. Im Beispielprojekt dieser Arbeit werden drei derartige Listen erzeugt. Die Reihenfolge der tabellarisch gegliederten Informationen orientiert sich grob an den Angaben im ‚Handbuch der Staudenverwendung‘ (s. BOUILLON et al. 2013, S. 111) und lautet wie folgt:

(JOCHENS 2023 n)



1. Signatur (und Symbol)
2. Anzahl (gesamt)
3. bot. (botanischer) Name
4. dt. (deutscher) Name
5. Kategorie (Stauden, Farne, Gräser, Gehölze)
6. Pflanzqualität
7. Pflanzdichte oder Anzahl/Symbol
8. Anmerkung

Die modellierten Bepflanzungsobjekte müssen in Bauteillisten aufgrund ihrer unterschiedlichen Revit-Kategorien verschieden behandelt werden. Das Auslesen der Pflanzendaten in je einer Liste pro verwendeter Kategorie ist eine praktikable Lösung, um dies zu gewährleisten und Doppelnennungen von Parametern zu vermeiden. Die Programmfunktionen zum Umgang mit Parameterwerten in Listen ähneln jenen Optionen zum Erstellen von Beschriftungsfamilien in Revit (s. Kapitel 6.4.1). Tabelle 9 bietet daher eine Übersicht zu den Spezifikationen der einzelnen Legendenlisten.

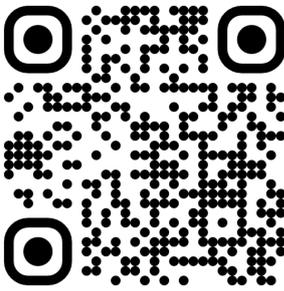
	Datentyp	Parametername	Formel	Beispiel
Bepflanzung Baumfamilien	Text	Signatur	–	Cata.Au
	Zahl	Anzahl	–	29
	Text	bot. Name	–	Catalpa bignonioides ,Aurea'
	Text	dt. Name	–	Gelber Trompetenbaum
	Text	Pflanzqualität	–	i. C. 60-100
	Text	Anmerkung	–	Coppicing-Gehölze: Rückschnitt 1-2x im Jahr auf 30cm
	Text	Planabschnitt	–	Süd
<i>→ Filter-Parameter (in Liste nicht angezeigt)</i>				
Allgemeines Modell Symbolfamilien	Text	Signatur	–	Dry
	Zahl	Anzahl	Zähler × Anzahl/Symbol	216
	Text	bot. Name	Gattung + Art + Zusatz + Sorte	Dryopteris erythrosora
	Text	dt. Name	–	Rotschleierfarn
	Text	Kategorie	–	Farne
	Text	Pflanzqualität	–	P 0,5
	Zahl	Anzahl/Symbol	–	3
	Text	Anmerkung	–	lockerer Tuff
	Zahl	Zähler	1	1
<i>→ Kalkulationsparameter (in Liste nicht angezeigt)</i>				
Teilelemente Pflanzengruppen	Text	Signatur	–	Ca.flac
	Zahl	Anzahl	$\text{round}(\text{Fläche} \times (\text{Pflanzdichte} \div 1\text{m}^2))$	589
	Text	bot. Name	–	Carex flacca
	Text	dt. Name	–	Blaugrüne Segge
	Text	Kategorie	–	Gräser
	Text	Pflanzqualität	–	P 0,5
	Zahl	Pflanzdichte	–	11
	Text	Anmerkung	–	dynamische Übergänge
	Fläche	Fläche	–	53 m ²
<i>→ Kalkulationsparameter (in Liste nicht angezeigt)</i>				

Tabelle 9: Parameterwerte der Legendenlisten (vereinfachte Parameternamen)

Legendenansichten und Legendenbauteile

Ergänzend zu den textlichen Informationen einer Legendenliste müssen die auf dem Plan verwendeten Pflanzensymbole und Schraffuren erläutert werden. Da es hierfür keine adäquate Methode innerhalb der Bauteillisten gibt, werden stattdessen sogenannte ‚Legendenansichten‘ erstellt. Dabei handelt es sich um maßstababhängige Ansichtsbereiche, die separat auf Plänen platziert werden können. Über die Funktion ‚Legendenbauteil‘ im Reiter ‚Beschriften‘ können jene Ansichten mit ‚Legendenbauteilen‘ bzw. ‚Legendenkomponenten‘ bestückt werden. Diese Revit-Elemente sind ein Abbild der im Projekt verfügbaren Familien. Zusätzlich zu den geladenen Familien lassen sich auch diverse ‚Systemfamilien‘ als ‚Legendenbauteile‘ darstellen. Dieses Vorgehen soll es Nutzern ermöglichen, Detailzeichnungen von Bauteilen für Grundrisse oder Ansichten auf Plänen abzubilden, ohne dass die Objekte in Bauteillisten oder Mengenermittlungen berücksichtigt werden (s. AUTODESK o. J. (I)). Die Auswahl der ‚Legendenbauteile‘ erfolgt über ein Dropdownmenü auf der Grundlage der verfügbaren ‚Familientypen‘. Für die Symbole der Stauden-Familie wurden bereits Typen erstellt und im Projekt verwendet. Daher sind die jeweiligen Symboldarstellungen auch im Menü der ‚Legendenbauteile‘ auffindbar (s. Abb. 53).

(JOCHENS 2023 o)



Anders verhält es sich mit den Schraffuren der Teilelemente für Pflanzengruppen. Da Revit das Erstellen von Typen für die Kategorie ‚Teile‘ nicht zulässt, können diese auch nicht als ‚Legendenbauteil‘ ausgewählt werden. Alternativ wird eine neue ‚ladbare Familie‘ mit rechteckiger Draufsicht modelliert. Anschließend können für das Element mehrere Typen erzeugt und diese jeweils mit unterschiedlichen Pflanzenmaterialien belegt werden. Sobald die Familie in das Projekt geladen wird, sind alle erzeugten Typen als ‚Legendenbauteile‘ verfügbar.

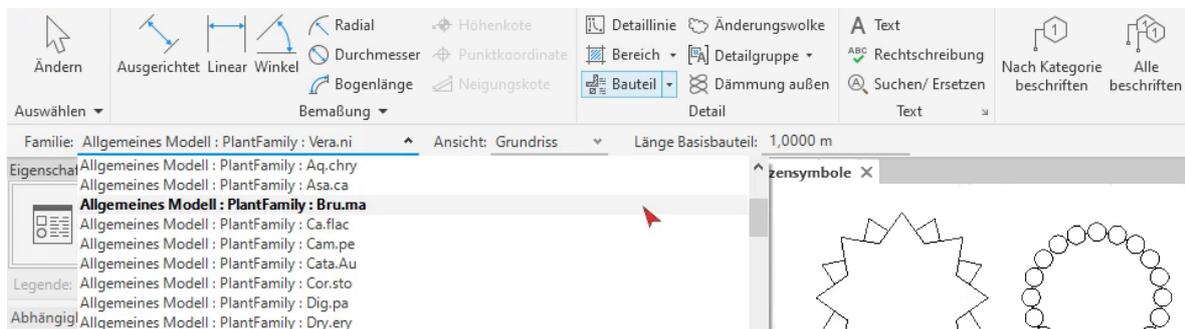
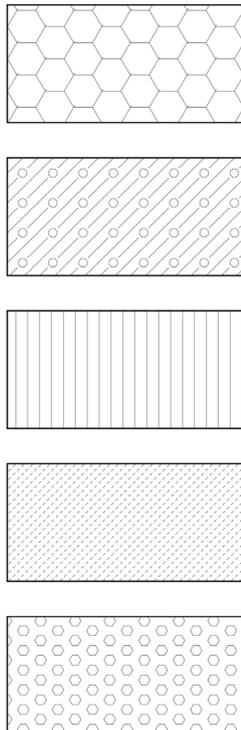


Abbildung 53: Dropdownmenü ‚Legendenbauteile‘

Im Anschluss kann mittels Dynamo ausgelesen werden, welche der vordefinierten Pflanzenmaterialien für die Teilelemente im Modell Verwendung finden (s. Abb. 55). Daraufhin werden alle Typen der neu erstellten Legendenbauteil-Familie ermittelt, denen dieselben Materialien zugewiesen wurden. Schließlich wird für jede Schraffur in der Flächenpflanzung ein ‚Legendenbauteil‘ mit rechteckiger Grundrissdarstellung in einer ‚Legendenansicht‘ platziert (s. Abb. 54). Das Skript funktioniert gleichermaßen für das automatische Platzieren und Aktualisieren von ‚Legendenbauteilen‘ für die Stauden-Familie. Dynamo kann die Elemente allerdings nur vervielfältigen und nicht gänzlich neu erstellen. Vorbereitend muss deshalb je eine ‚Legendenansicht‘ für die Staudensymbole sowie für die Pflanzengruppen erzeugt und ein Exemplar des jeweiligen ‚Legendenbauteils‘ platziert werden. Diese können anschließend durch das Skript dupliziert werden.

Abbildung 54: Automatisierte ‚Legendenbauteile‘



Eingaben
Auswahl Legendenansicht Identifizieren Legendenbauteil in Legendenansicht Auswahl Legendenmaßstab
Abstände (nur Legendenbauteil-Familie)
Identifizieren Familienmaßstab Identifizieren Familientyp Auslesen Parameter Höhe Berechnen der Abstände aus Höhe
Legendenbauteil-Familie?
Boolean erzeugen
Alte Legende löschen zur Aktualisierung
Boolean auswerten: TRUE Legende Pflanzengruppen FALSE Legende Staudensymbole
Teilelemente für Bepflanzung
Auswahl nur Teile mit Layer-Index = 1 Auswahl nur Teile ohne eigene Unterteilungen
Material und Schlüsselwert der Teile
Unikale Materiale im Modell ermitteln Unikale Schlüsselwerte im Modell ermitteln Schlüsselwerte alphabetisch sortieren
Auswahl Typen Legendenbauteil-Familie
nach identifizierten unikalen Materialien
Auswahl Typen Stauden-Familie
Unikale Typen Stauden-Familie ermitteln Typennamen alphabetisch sortieren
Legendenbauteile duplizieren
Importieren Geometrie Legendenbauteil Boolean auswerten: TRUE Legendenbauteil-Familie FALSE Stauden-Familie Anzahl Legendenbauteile ermitteln Linie zeichnen (Länge = Anzahl * Abstand) Duplizieren entlang Linie in ermittelter Anzahl
Legendenbauteil-Typen definieren
nach identifizierten unikalen Familientypen

Abbildung 55: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 i)

Eingaben
Auswahl Plan Auswahl Legendenliste Auswahl Legendenansicht Auswahl Platzierungspunkt
Legende für Symbole oder Gruppen?
Boolean erzeugen
Legende platzieren
Legendenansicht nach Platzierungspunkt Legendenliste nach Platzierungspunkt Anpassen Zeilenhöhe der Legendenliste
Abstände der Legendenliste
Boolean auswerten: TRUE Abstände Legende Gruppen FALSE Abstände Legende Symbole
Legendenliste ausrichten
Eckpunkt von Legendenansicht ermitteln Position Legendenliste nach Abständen und Eckpunkt
Auswahl in Revit
Legendenliste und Legendenansicht auswählen

Automatisiertes Platzieren von Legenden

Zur Fertigstellung der Bepflanzungsplanung müssen nun die beiden Bestandteile der Legende auf dem Plan platziert werden. Statt die ‚Legendenansichten‘ und Listen auf herkömmliche Art einzeln aus dem ‚Projektbrowser‘ in das Layout zu ziehen, wird ein Dynamo-Skript angewandt (s. Abb. 56). Das Skript erfordert eine Angabe der zu platzierenden ‚Legendenliste‘, der dazugehörigen ‚Legendenansicht‘ und des Planes, auf welchem beide platziert werden sollen. Außerdem kann durch das Setzen eines Platzierungspunktes eine grobe Position der Legende bestimmt werden. Zunächst werden anhand der Eingaben beide Legendenbestandteile auf dem Planlayout abgelegt. Dynamo prüft anschließend, ob es sich um eine Legende für Pflanzengruppen oder Symbole handelt. Darauf basierend werden die Abstände festgelegt, die dazu dienen, die Position der ‚Legendenliste‘ anhand der ‚Legendenansicht‘ auszurichten. Schließlich werden die Objekte in Revit ausgewählt, sodass auch eine nachträgliche Ausrichtung möglich ist.

Abbildung 56: Dynamo-Skript (s. Anhang 1 j)

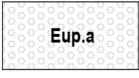
Legende Pflanzengruppen						
Kürzel	Anzahl	bot. Name	dt. Name	Kategorie	Qualität	Stk./qm
 Asa.ca	3063	Asarum caudatum	Geschwänzte Haselwurz	Stauden	P 0,5	16
 Bru.ma	1018	Brunnera macrophylla 'Jack Frost'	Grausilbriges Garten-Kaukasusvergissmeinnicht	Stauden	P 1	11
 Ca.flac	589	Carex flacca	Blaugrüne Segge, Schlaffe Segge	Gräser	P 0,5	11
 Cor.sto	382	Cornus stolonifera 'Kelsey'	Zwerg-Hartriegel	Gehölze	i. C. 20-30	1
 Eup.a	397	Euphorbia amygdaloides var. robbiae	Mandelblättrige Wolfsmilch	Stauden	P 1	11
 Mol.cae	284	Molinia caerulea 'Moorhexe'	Kleines Garten-Pfeifengras	Gräser	P 0,5	6

Abbildung 57: Ausschnitt Legende für Pflanzengruppen (s. Anhang 2)



Abbildung 58: Ausschnitt Bepflanzungsplan (s. Anhang 2)

Abbildung 57 zeigt eine der zweiteiligen Legenden, die mittels Dynamo platziert wurden. Ein Ausschnitt des abgeleiteten Bepflanzungsplans wird in Abbildung 58 ohne Maßstab dargestellt. Der vollständige Plan liegt der Arbeit als lose Anlage bei und kann zusätzlich dem digitalen Anhang 2 entnommen werden.

7 DISKUSSION

Im Fokus dieser Arbeit steht eine Erweiterung des Methodenkatalogs für die Modellierung von Vegetationsobjekten in BIM sowie deren Verwendung für das Anwendungsfeld der Bepflanzungsplanung. Das methodische Vorgehen wird dabei bestimmt durch den Einsatz visueller Programmierungen, welche herkömmliche Modellierungsansätze ergänzen, optimieren und automatisieren sollen. Die vorbereiteten Skripte entsprechen der chronologischen Abfolge des dargelegten Gesamtworkflows und sind für die wiederholte Verwendung einzelner Arbeitsschritte der Bepflanzungsplanung in Revit vorgesehen. Dabei liegt ein Hauptaugenmerk in der Aufbereitung der Programme für eine intuitive Nutzbarkeit – auch für Anwender ohne Kenntnisse von den Funktionen der VPL-Software Dynamo.

In der nachfolgenden Diskussion mit dem Titel ‚Bepflanzungsplanung in Revit‘ (Kapitel 7.1) werden die Inhalte und Ergebnisse der Modellierung in Hinblick auf ihre Bedeutsamkeit für diese Ziele überprüft. Darauf aufbauend wird zudem der Einsatz visueller Programmierung als methodische Herangehensweise reflektiert. In Kapitel 7.2 soll anhand der gewonnenen Erkenntnisse abschließend der generelle Nutzen von Bepflanzungsplanungen im BIM-Modell kritisch hinterfragt werden.

7.1 Bepflanzungsplanung in Revit

INHALTE	
Building Information Modeling	Bepflanzungsplanung
<ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsfälle • Fertigstellungsgrade (Level of Development) <ul style="list-style-type: none"> ○ Level of Geometry ○ Level of Information • IFC <ul style="list-style-type: none"> ○ IFC-Klassen ○ Properties 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionstypen • Bepflanzungstypen • Bepflanzungspläne <ul style="list-style-type: none"> ○ Pflanzensymbole ○ Pflanzenflächen ○ Beschriftung ○ Legenden ○ Instruktive Planbestandteile

Tabelle 10: Kernaussagen zu BIM und Bepflanzungsplanung

FUNKTIONEN	
<ul style="list-style-type: none"> • Symbol-Bibliothek • Platzierungswerkzeuge • Verknüpfung von Attributen • Nutzung externer Datenbanken • Automatisierte Pflanzenlisten 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Mengenermittlung • GAEB-Schnittstelle • Automatisierte Legenden • Automatisierte Blütezeitkalender • Visualisierungsoptionen

Tabelle 11: Kernaussagen zur Branchensoftware mit BIM-Eignung

Für das Erstellen des Vegetationsmodells in Autodesk Revit wurden die in Kapitel 2.4 aufgeführten Grundbegriffe des Building Information Modeling sowie der Bepflanzungsplanung berücksichtigt (s. Tabelle 10). Insbesondere die Modellierung nach aufeinander aufbauenden Fertigstellungsgraden wurde im Ergebnisteil der Arbeit umfassend beschrieben. Die Modellobjekte wurden anhand eines exemplarischen Anwendungsfalls mit Attributen versehen, deren semantische Informationen darüber hinaus für eine Variation der Modellgeometrie verwendet wurden. Des Weiteren wurde die vorgesehene Bepflanzung nach den Funktionstypen der Stauden kategorisiert und entsprechend hinsichtlich der Darstellung in BIM variiert. Die Vegetationselemente verfügen über Eigenschaften und Darstellungsoptionen, welche sie gleichermaßen für die symbolische Verwendung in Bepflanzungsplänen sowie eine bauteilorientierte Nutzung innerhalb des 3D-Modells qualifizieren. Alle notwendigen Beschriftungen und Legenden wurden aus dem Modell abgeleitet und zusätzlich zu den instruktiven Planbestandteilen in einer Revit-Planansicht abgebildet. Somit konnte im Rahmen dieser Arbeit ein vollständiger Workflow für die Bepflanzungsplanung innerhalb von Revit umgesetzt werden. Aufgrund des Themenschwerpunktes zum Erstellen von Modellinhalten und des zusätzlichen Aufwandes der visuellen Programmierung wurde jedoch von einem Export der Vegetationselemente nach IFC-Standard abgesehen.

Auch die in Kapitel 2.4 dargestellten Funktionen der branchenspezifischen BIM-Programme wurden bei der Umsetzung bedacht (s. Tabelle 11). Mit dem Erstellen der ladbaren Familien für Baum- und Staudenobjekte, die für eine wiederholte Verwendung innerhalb mehrerer BIM-Projekte vorgesehen sind, konnte die vorhandene Symbol-Bibliothek in Revit sinnvoll ergänzt werden. Der Grundgedanke der parametrischen Modellierung dieser Familien ist jedoch das Entwickeln möglichst ‚intelligenter‘ bzw. adaptiver Modellelemente, durch deren Nutzung auf das aufwändige Erstellen umfangreicher Objekt-Bibliotheken verzichtet werden kann. Der ausschließliche Einsatz der drei vorbereiteten Familien führt somit zu einer verbesserten Übersichtlichkeit im Projekt. Die in Tabelle 11 aufgeführten Vorteile der Branchensoftware sind in den Standardfunktionen von Revit nur bedingt oder überhaupt nicht vorhanden. Um diese Defizite zu minimieren, wurden in Dynamo verschiedene Skripte entwickelt, welche bei der Modellierung zum Einsatz kamen. Die gesteigerte Funktionalität durch visuelle Programmierung stellt sogar einen Mehrwert gegenüber der Verwendung der alternativen Spezialprogramme dar. Dies gilt vor allem für die optimierten Optionen zur gezielten und kumulierten Platzierung von Vegetationsobjekten (s. Kapitel 6.2.1, Kapitel 6.3.2) nach CAD-Vorlage.

Durch die thematische Eingrenzung auf den Modellierungsprozess in Revit und das Ableiten eines technischen Bepflanzungsplanes wurden die Funktionen ‚Automatisierte Blütezeitkalender‘ und ‚Visualisierungsoptionen‘ (s. Tabelle 11) als Randthemen identifiziert, die in dieser Arbeit nicht ausreichend behandelt werden können. Andere Potentiale der Branchensoftware konnten hingegen nur annäherungsweise in Revit implementiert werden. So stellt das Verknüpfen von Pflanzenattributen eine Grundvoraussetzung für die generelle Umsetzbarkeit der Bepflanzungsplanung in Revit dar. Diese Nutzung importierter Daten ist zugleich eine dringend benötigte Funktion in der BIM-Methode. Im Gegensatz zu den Potentialen der Spezialsoftware konnte jedoch mit den gegebenen Mitteln der visuellen Programmierung keine Verbindung zu einschlägigen Pflanzendatenbanken oder -katalogen hergestellt werden. Stattdessen wurde ein Workaround durch den Einsatz der Office Anwendung Excel entwickelt, welche als zusätzliche ‚Datenschnittstelle‘ zwischen Dynamo und Pflanzendatenbanken fungiert. Auch ein Austausch von Daten mit externer AVA-Software für das Verfassen von Leistungsverzeichnissen könnte auf diesem Wege realisiert werden. Aufgrund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit wurden jedoch keine Untersuchungen vorgenommen, die einen Einsatz zusätzlicher Programme – Dynamo und Pflanzendatenbanken ausgenommen – erfordert hätten. Eine Übergabe der Revit-Mengenermittlung und Lieferqualitäten an externe Software im Sinne des ‚Gemeinsamen Ausschusses Elektronik im Bauwesen‘ (GAEB) wurde daher nicht durchgeführt und könnte im Rahmen zusätzlicher Untersuchungen ergänzend thematisiert werden. Hinsichtlich der Funktion ‚Automatisierte Legenden‘ wurde in Kapitel 6.4 ein Workflow veranschaulicht. Dabei wurde dem Bepflanzungsplan eine Legende hinzugefügt, deren Inhalt automatisiert aus dem Modell abgeleitet und teilweise automatisch aktualisiert wird. Verglichen mit den vordefinierten Funktionen der branchenspezifischen Anwendungen ist dieser Vorgang jedoch eher umständlich und behelfsmäßig. Der Mangel an Optionen zum Erzeugen materialbasierter Legenden darf außerdem nicht als individueller Nachteil von Revit für die Landschaftsarchitektur gewertet werden. Vielmehr handelt es sich um ein generelles Defizit des Programms, welches ebenso Anwender aus anderen Branchen betrifft.

Betreffs der Eignung von Autodesk Revit für den Aufgabenbereich der Landschaftsarchitektur ist der Umgang mit Vegetation indes von großer Bedeutung. Bepflanzung ist ein sinnstiftendes Element der Branche und sollte demnach in den Fachmodellen für Außenanlagen entsprechend behandelt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass gerade durch eine Erweiterung der Revit-Standardbefehle mittels visueller Programmierung eine Bearbeitung von Bepflanzungsprojekten in der BIM-Software Revit durchführbar ist.

Grundsätzlich ermöglicht die Nutzung von Dynamo nur einen unmittelbareren Zugang zu den vorhandenen Funktionen der Software. Das Funktionsspektrum innerhalb der Revit API wird dadurch nicht erweitert. Dennoch sind es nicht die Qualitäten der Standardbenutzeroberfläche von Revit, die in Bezug auf die Umsetzung von Bepflanzungsprojekten in BIM überzeugen können. Vielmehr liegt der Nutzen in der Kombination von Autorensystem und grafischem Algorithmeneditor. Im Folgenden soll die Wahl der visuellen Programmierung als Modellierungsmethode für diese Arbeit kurz reflektiert werden.

VPLs gelten als gute Einstiegsmöglichkeit in die Programmierung, weil der grafische Aufbau des Programms eine intuitivere Handhabung ermöglichen soll als die Verwendung textbasierter Programmiersprachen (s. BORRMANN et al. 2021, S. 282). Da die Benutzeroberfläche von Autodesk Revit den üblichen Bauteilklassen des IFC-Standards nachempfunden ist und somit wenig Potential für die Modellierung von Vegetationsobjekten bietet, wurde bereits bei der Themenfindung der Einbezug des VPL-Programms Dynamo beschlossen. Dynamo ist ein fester Bestandteil des Lieferumfangs von Revit. Dadurch kann in dieser Arbeit eine ganzheitliche Untersuchung der Modellierungsoptionen für Bepflanzung in der Autodesk-Software erfolgen. Gleichzeitig können die Qualitäten, welche den Tools der visuellen Programmierung zugerechnet werden, einem Praxistest unterzogen werden. Durch das eigenständige Erstellen von grafischen Algorithmen im Kontext der Bepflanzungsplanung wurde daher auch die Eignung Dynamos für eine mögliche Implementierung in die Planungspraxis von Landschaftsarchitekten geprüft. Durch den Einsatz der VPL-Software konnten im zeitlichen Rahmen dieser Abschlussarbeit zehn Algorithmen für die Bepflanzungsplanung in Revit entwickelt werden. Die Erfahrungen mit dem Programm sind durch eine steile Lernkurve gekennzeichnet, sodass bereits nach kurzer Zeit erste Programmierungserfolge erzielt werden konnten. Das Einbinden der visuellen Programmierung in den Methodenkatalog der Landschaftsarchitektur scheint daher möglich und könnte neben der Modellierung von Vegetationsobjekten flexibel für diverse Anwendungszwecke erfolgen.

Bezogen auf den Einsatz von Dynamo in dieser Arbeit wurden einige Erkenntnisse gewonnen. Das Ziel zum Erstellen von benutzerdefinierten digitalen Werkzeugen für die Bepflanzungsplanung konnte nach dem Vorbild branchenspezifischer Softwareprodukte erreicht werden. Dabei wurden die Diagramme mit Benutzeroberflächen ausgestattet, die in Form von Dialogfenstern beim Ausführen der Skripte erscheinen. Bei der Programmierung kann je nach Vorhaben entschieden werden, welche Angaben durch Nutzer gemacht werden sollen und wann diese eingegeben werden müssen. Dieses Vorgehen erhöht die generelle Bedienbarkeit der Skripte und erleichtert die Anwendung für Nutzer, die keine Kenntnis vom Ablauf der betreffenden Diagramme oder dem Umgang mit visueller Programmierung im Allgemeinen haben. Die Risiken von der Verwendung solcher Skripte im Büroalltag liegen unter anderem in der begrenzten Gültigkeit der Programmierungen. Die Potentiale von Dynamo werden nur durch den Gebrauch benutzerdefinierter Blöcke und Pakete komplett ausgeschöpft. Diese enthalten jedoch häufig Bestandteile textlicher Programmierungen und sind somit an die Inhalte der spezifischen API-Version von Revit gebunden, für die sie erstellt wurden. Da für bestimmte Teile der API allerdings in jeder neuen Revit-Version Änderungen vorgenommen werden, sind benutzerdefinierte Blöcke häufig nicht mehr auf dem neuesten Stand und demnach nicht funktionsfähig. Dieser Nachteil wird durch das große Engagement der Open-Source-Gemeinschaft jedoch verringert. In der Regel werden die gängigen benutzerdefinierten Pakete durch ihre Verfasser regelmäßig überprüft und an neue Programmversionen angepasst. Insgesamt kann sich der Einsatz von eigens erstellten visuellen Programmen für den Büroalltag sogar als große Chance zur Effizienzsteigerung erweisen, da insbesondere zeitaufwändige, sich wiederholende Prozesse automatisiert werden können.

Das Einbinden eigener Skripte in die Arbeitsabläufe von Landschaftsarchitekturbüros erfordert jedoch auch viel Disziplin und eine strikte Organisation der Workflows. Viele Prozesse in Dynamo basieren auf dem Auslesen und Verwerten von Textdaten. Nur eine einheitliche Regelung zur Verwendung von Bezeichnungen ist demnach zielführend. Gleichzeitig sollten erstellte Diagramme nicht zu umfangreich sein. Je mehr unterschiedliche Aktionen ein Dynamo-Skript zugleich ausführen soll, umso größer ist das Fehlerpotential. Bei sehr großen Diagrammen kann es zudem Schwierigkeiten bereiten, diese Fehler im Algorithmus ausfindig zu machen und zu beheben.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die verwendete Methode des visuellen Programmierens ausschlaggebend für das Erreichen der Modellierungsziele in dieser Arbeit war und in Hinblick auf die Umsetzung von Bepflanzungsplanungen in BIM eine ernstzunehmende Alternative zum Einsatz branchenspezifischer BIM-Programme darstellt.

7.2 Bepflanzungsplanung in Building Information Modeling

Letztlich soll anhand der gewonnenen Erkenntnisse über die Modellierung von Bepflanzung in Revit eine Einschätzung zum generellen Nutzen der Bepflanzungsplanung in BIM-Modellen gegeben werden.

Die Notwendigkeit zum Einbinden der Bepflanzungsplanung in die BIM-Methode, welche in der Landschaftsarchitektur zunehmend an Bedeutung gewinnt, wird insbesondere dadurch bestärkt, dass Gehölz- und Staudenpflanzungen gerade bei aktuellen Großprojekten eine wesentliche Bedeutung zukommt. Der reibungslose Ablauf von anspruchsvollen Bepflanzungen in der Bauphase kann nur durch eine solide Planung gewährleistet werden. Neben den organisatorischen Anforderungen stellt der Umgang mit Pflanzen zugleich einen bedeutenden Faktor für die Baukosten dar, welcher im BIM-Modell nicht vernachlässigt werden sollte. Besonders die Grundidee eines digitalen Bauwerksmodells als „Single Source of Truth“ (ABBASPOUR et al. 2021, S. 30) macht das Integrieren von Bepflanzungselementen in den Modellierungsprozess notwendig. Das alleinige Beifügen von zweidimensionalen Pflanzplänen ist in der BIM-Planung zwar möglich, führt jedoch nur zu einem unvollständigen Fachmodell der Landschaftsarchitektur und stellt aufgrund der fehlenden Abhängigkeiten zu den Modellobjekten keine dauerhaft verlässliche Informationsquelle dar.

Dass vegetationsbezogene Planungsleistungen demnach in die Methodik des Building Information Modeling einbezogen werden müssen, scheint unfraglich. Die Frage nach der Art und Weise ist hingegen noch nicht abschließend geklärt. Neben den Optionen zur dreidimensionalen Planung von Pflanzungen können in Revit auch Funktionen für eine Bepflanzungsplanung auf der Basis von 2D-Flächen genutzt werden. Dieses Vorgehen ist in der Regel weniger komplex als der in dieser Arbeit geschilderte Workflow mit 3D-Objekten. Zum Beispiel gibt es keine Konflikte mit anderen dreidimensionalen Modellelementen. Außerdem ist die hierarchische Anordnung der Elemente im Bepflanzungsplan deutlich einfacher umzusetzen als bei der Kombination von 3D-Objekten und 2D-Symbolen. Allerdings sind diese 2D-Flächen kaum mit dem übrigen Modell verknüpft und somit weniger ‚intelligent‘. Auch eine Kombination mit Pflanzensymbolen wäre nur vergleichbar mit der Umsetzung in

herkömmlichen CAD-Programmen. Würden in einem Projekt 3D-Geometrien für die Pflanzflächen und eine zusätzliche Bepflanzungsplanung mit 2D-Flächen verlangt, so müssten beide Varianten separat voneinander konstruiert werden. Bei möglichen Änderungen wäre ebenfalls der doppelte Aufwand nötig. Diese Limitierungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer dreidimensionalen Modellierung von Vegetation in BIM. Zugleich gehen damit weitere Vorteile einher. Einerseits bestehen Potentiale in den Wechselbeziehungen zu anderen Bauteilen. Diese konnten in der vorliegenden Arbeit unter anderem für die automatische Kalkulation des Pflanzenbedarfs genutzt werden (s. Kapitel 6.4). Andererseits kann nur durch eine 3D-Darstellung die räumliche Wirkung des Entwurfes nachvollzogen werden. Neben den obligatorischen Visualisierungsoptionen kann somit auch eine Prüfung der Entwurfsqualität innerhalb des Planungsprozesses erfolgen. Durch perspektivische Ansichten lassen sich z.B. potentielle Angsträume identifizieren oder Heckenpflanzungen auf ihre Sichtschutzfunktion überprüfen. Bei Gehölzpflanzungen wird zudem eine 3D-Geometrie für Kollisionsprüfungen benötigt. Die in dieser Arbeit erstellte Familie für die Darstellung von Stauden nach Funktionstypen (s. Kapitel 6.1.2) gibt zusätzlich jederzeit Aufschluss über das beabsichtigte räumliche Konzept der Pflanzung, was ebenfalls Vorteile für spätere Pflegemaßnahmen haben kann.

Generelle Aussagen zu den geometrischen und semantischen Eigenschaften, welche die BIM-Pflanzen für einen bestimmten LOD aufweisen müssen, lassen sich jedoch nur schwer formulieren. Die in Kapitel 5 definierten Modellierungsziele geben einen Überblick über die mögliche Ausarbeitung für die einzelnen Modellierungsgrade. Das Bestücken eines BIM-Modells mit einer Vielzahl einzelner Bepflanzungsobjekte, wie in dieser Arbeit für den LOD 300+ veranschaulicht, ist aufgrund des sehr hohen geometrischen Detaillierungsgrades nicht für jedes Projekt empfehlenswert oder notwendig. Im Regelfall sollte daher anhand der BIM-Ziele und der zu bearbeitenden Anwendungsfälle entschieden werden, wie die vorgesehene Vegetation des Projektes zu modellieren ist.

QUELLENVERZEICHNIS

ABBASPOUR, AMIR, BAUM, THORSTEN U. RAPS, MICHAEL (2021): BIM-Glossar. Erläuterungen der wichtigsten Fachbegriffe des Building Information Modeling. Berlin: bSD Verlag, 108 S.

AUTODESK (2021): Der Wendepunkt ist erreicht. Die branchenweite Akzeptanz von BIM beschleunigt den digitalen Wandel. Online verfügbar unter <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/aec-bim-study-smart-market-synopsis-ebook-de.pdf> (aufgerufen am: 26.06.2023)

AUTODESK (o. J. (a)): Autodesk Revit 2024. Dynamo for Revit. Online verfügbar unter https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=RevitDynamo_Dynamo_for_Revit_html (aufgerufen am: 08.07.2023)

AUTODESK (o. J. (b)): Autodesk Revit 2014. Kategorie. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVT/2014/DEU/?guid=GUID-48B14613-5BFC-4E4D-B1DF-80B85EC8DFF3> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (c)): Autodesk Revit 2018. Info zu Familien. Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/DEU/Revit-Model/files/GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29-htm.html> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (d)): Autodesk Revit 2018. Verschiedene Arten von Familien. Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/DEU/Revit-Model/files/GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2-htm.html#:~:text=In%20Revit%20stehen%20drei%20Arten,gemeinsam%20genutzte%20Bauteilfamilien%20zu%20e> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (e)): Autodesk Revit 2018. Systemfamilien. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVT/2018/DEU/?guid=GUID-A6600994-DFBE-4079-87F9-D6AC8681A915> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (f)): Autodesk Revit 2018. Ladbare Familien. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVT/2018/DEU/?guid=GUID-144E4D2B-4CF4-46A8-8596-0D2952CDF150> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (g)): Autodesk Revit 2018. Bauteile. Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/DEU/Revit-Model/files/GUID-584591D8-A0F9-468C-8A45-B7D3795A6181-htm.html> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (h)): Autodesk Revit 2020. Info zu Parametern.
Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/DEU/Revit-Model/files/GUID-AEBA08ED-BDF1-4E59-825A-BF9E4A871CF5-htm.html> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (i)): Autodesk Revit 2023. Gemeinsam genutzte Parameter.
Online verfügbar unter <https://knowledge.autodesk.com/de/support/revit/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2023/DEU/Revit-Model/files/GUID-E7D12B71-C50D-46D8-886B-8E0C2B285988-htm.html> (aufgerufen am: 18.07.2023)

AUTODESK (o. J. (j)):
Autodesk Revit LT 2024. About Plants And Entourage. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVTLT/2024/ENU/?guid=GUID-357622C5-C887-4A4E-B135-C0A65B4382D5> (aufgerufen am: 07.07.2023)

AUTODESK (o. J. (k)): Teilelemente. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/DEU/?guid=GUID-DA150C6B-996C-4C70-9E8C-3C536C232851> (aufgerufen am: 08.07.2023)

AUTODESK (o. J. (l)): Video: Erstellen einer Legendenansicht. Online verfügbar unter <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/DEU/?guid=GUID-8CBA6DDA-70C0-49AC-AC43-4E8B010BCDB1> (aufgerufen am: 16.08.2023)

BENDFELDT, KLAUS-DIETER U. BENDFELDT, JENS (2002): Zeichnen und Darstellen in der Freiraumplanung. Von der Skizze zum Entwurf. 3 Aufl., Berlin: Parey, 295 S.

BMVI [HRSG.] (2019a): BIM4INFRA. Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Handreichungen und Leitfäden - Teil 6. Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf (aufgerufen am: 08.12.2022)

BMVI [HRSG.] (2019b): BIM4INFRA2020. Handreichungen BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad (engl. Level of Development – LOD). Handreichungen und Leitfäden – Teil 7. Online verfügbar unter https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil7.pdf (aufgerufen am: 17.07.2023)

BORCHARDT, Wolfgang (2013): Pflanzenverwendung. Das Gestaltungsbuch. Stuttgart: Ulmer, 315 S.

BORRMANN, ANDRÉ U. KÖNIG, MARKUS (2018): Building Information Modeling. In: VISMANN, Ulrich [Hrsg.] (2018): Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln. Wiesbaden: Springer, S.1475-1484.

BORRMANN, ANDRÉ, KÖNIG, MARKUS, KOCH, CHRISTIAN et al. (2021):
Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. 2.
Aufl., Wiesbaden: Springer, 585 S.

BOUILLON, JÜRGEN , HENNE, SIGRUD U. THIEME-HACK, MARTIN (2013):
Handbuch der Staudenverwendung. Aus dem Arbeitskreis Pflanzenverwendung im Bund
deutscher Staudengärtner ; Empfehlungen für Planung, Anlage und Management von
Staudenpflanzungen. Stuttgart: Ulmer, 285 S.

BRÜCKNER, Ilona (2020): Modell Landschaft_Freianlage. BIM – in der Landschafts-
und Umweltplanung. Pilotprojekt A10/A24. Landschaftsarchitekten 4, S. 8-9.
Online verfügbar unter [https://www.bdla.de/de/dokumente/bundesverband/
nachrichten-13/2020-14/946-digitalisierung-landschaftsarchitekten-4-2020/file](https://www.bdla.de/de/dokumente/bundesverband/nachrichten-13/2020-14/946-digitalisierung-landschaftsarchitekten-4-2020/file)

BUILDINGSMART (2021): IFC 4.3.1.0 (IFC4X3_ADD1).
7 Domain specific data schemas. Online verfügbar unter
<https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/chapter-7/>
(aufgerufen am: 16.07.2023)

CARLIER, Thomas (2017):
A picture of Zion National Park, Utah Taken in July 2017. Online verfügbar unter
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e4/Zion_2017.jpg/
1280px-Zion_2017.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e4/Zion_2017.jpg/1280px-Zion_2017.jpg) (aufgerufen am: 20.08.2023). CC-BY-SA-4.0.

CATELLIER, Nicolas (2017):
REVIT PURE. 14 Tips to understand Revit railings. Online verfügbar unter
<https://revitpure.com/blog/14-tips-to-understand-revit-railings> (aufgerufen am: 07.07.2023)

CHATTO, Beth (1991): Im grünen Reich der Stauden. Der neue englische Staudengarten.
Stuttgart: Ulmer, 192 S.

DATAFLOR (o. J.): DATAflor BIMXPert. Online verfügbar unter
<https://www.dataflor.de/landschaftsarchitektur/produkte/bimxpert/>
(aufgerufen am: 06.07.2023)

DYNAMO PRIMER (o. J. (a)): Was ist visuelle Programmierung? Online verfügbar unter
https://primer.dynamobim.org/de/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html
(aufgerufen am: 12.07.2023)

DYNAMO PRIMER (o. J. (b)): Verbindung zu Revit. Online verfügbar unter
https://primer.dynamobim.org/de/08_Dynamo-for-Revit/8-1_The-Revit-Connection.html
(aufgerufen am: 11.07.2023)

DYNAMO PRIMER (o. J. (c)): Was ist Dynamo? Online verfügbar unter
https://primer.dynamobim.org/de/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html
(aufgerufen am: 13.07.2023)

DYNAMO PRIMER (o. J. (d)): Was ist ein Codeblock? Online verfügbar unter https://primer.dynamobim.org/de/07_Code-Block/7-1_what-is-a-code-block.html (aufgerufen am: 13.07.2023)

DYNAMO PRIMER (o. J. (e)): Drähte. Online verfügbar unter https://primer.dynamobim.org/de/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-2_wiring_programs.html (aufgerufen am: 13.07.2023)

DYNAMO PRIMER (o. J. (f)): Benutzerdefinierte Blöcke. Online verfügbar unter https://primer.dynamobim.org/de/10_Custom-Nodes/10-1_Introduction.html (aufgerufen am: 13.07.2023)

HAUSKNECHT, KERSTIN U. LIEBICH, THOMAS (2016): BIM-Kompendium. Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 223 S.

HAVERLAND, Ramona (2021): Vegetation im Kontext von Building Information Modeling. Entwicklung eines Datenmodells für ausgewählte Baumarten. HS Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. Osnabrück. Online verfügbar unter https://opus.hs-osnabrueck.de/frontdoor/deliver/index/docId/3636/file/Masterarbeit_Ramona_Haverland_Stand_22-09-05.pdf

HEINZE, Robert (2022): Licht. BIM-Autorensysteme. Übersicht verschiedener BIM-Modelle. Online verfügbar unter <https://lichtnet.de/artikel/bim-autorensysteme/> (aufgerufen am: 12.07.2023)

INTERNATIONAL SOCIETY OF ARBORICULTURE (2011): Avoiding Tree Damage During Consstruction. Online verfügbar unter <https://arboriculture.org.au/getassets/4d196566-c5ef-e911-90fb-00505687f2af/AvoidingTreeDamage.pdf> (aufgerufen am: 04.08.2023)

JA. SCHULDT BAUMSCHULEN; (o. J.): Pflanzenbedarf/Pflanzabstand. Online verfügbar unter https://www.baumschuledirekt.de/Pflanzenbedarf-Pflanzabstand:_:11010.html (aufgerufen am: 30.06.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 a): 01 Revit Bepflanzung. Adaptive Baum-Familie. Online verfügbar unter <https://youtu.be/TTGdTfIY-sl> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 b): 02 Revit Bepflanzung. 3D-Pflanzen nach Funktionstypen. Online verfügbar unter <https://youtu.be/nFk-bB-dIXw> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 c): 03 Revit Bepflanzung. Familie für Staudensymbole. Online verfügbar unter <https://youtu.be/dSX6z6Cqlck> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 d):

04 Revit Bepflanzung. Vegetationsflächen mit Dynamo. Online verfügbar unter https://youtu.be/w6vCOn_nJko (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 e):

05 Revit Bepflanzung. Ansichtsfiler für Vegetationsflächen. Online verfügbar unter <https://youtu.be/illKGpb717Y> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 f):

06 Revit Bepflanzung. Gehölze platzieren. Online verfügbar unter https://youtu.be/_ly2DNxxVsM (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 g):

07 Revit Bepflanzung. Pflanzenreihen mit ‚Geländer‘-Tool. Online verfügbar unter <https://youtu.be/jm6sVt6xc68> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 h): 08 Revit Bepflanzung.

‚Geländer‘ in Gehölz-Familien umwandeln (Dynamo). Online verfügbar unter <https://youtu.be/a8aM2CpQ0I0> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 i):

09 Revit Bepflanzung. Importieren von Pflanzendaten mit Dynamo. Online verfügbar unter <https://youtu.be/3wQmRg51kMg> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 j): 10 Revit Bepflanzung.

Platzieren von Staudensymbol-Familien mit Dynamo. Online verfügbar unter <https://youtu.be/EQViS5eZg1E> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 k): 11 Revit Bepflanzung.

Gliederung in Pflanzengruppen mit Dynamo. Online verfügbar unter <https://youtu.be/OuCgQT4yWBA> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 l): 12 Revit Bepflanzung.

3D-Darstellung für Pflanzengruppen mit Dynamo. Online verfügbar unter <https://youtu.be/wbH8arDqy1s> (aufgerufen am: 27.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 m): 13 Revit Bepflanzung. Beschriftung und Bepflanzungsplan. Online verfügbar unter <https://youtu.be/sPrh8zUoVo> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 n): 14 Revit Bepflanzung. Familie für Legendenbauteile.

Online verfügbar unter <https://youtu.be/yWPI6iCrTTg> (aufgerufen am: 21.08.2023)

JOCHENS, Tammo (2023 o): 15 Revit Bepflanzung. Automatische Pflanzenlegenden.

Online verfügbar unter <https://youtu.be/SYr8GmDuOuw> (aufgerufen am: 21.08.2023)

KÜHN, Norbert (2011): Neue Staudenverwendung. Stuttgart: Ulmer, 328 S.

MORBACH, Maximilian (2020): Building Information Modeling in der Landschaftsarchitektur. Ermittlung und Analyse der Grundlagen und des aktuellen Stand der BIM-Methodik für die Landschaftsarchitektur. Hochschule Anhalt, Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung. Bernburg. Online verfügbar unter <https://opendata.uni-halle.de/handle/1981185920/34402>

REMY, MATTHIAS U. BRÜCKNER, ILONA (2021): Projekt: Entwicklung einer Modellierungsrichtlinie für Objekte des Freiraums für den BIM-basierten Bauantrag am Beispiel der Außenanlagenplanung des Bauvorhabens Elbtower in Hamburg. HS Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. Osnabrück. Online verfügbar unter https://opus.hs-osnabrueck.de/frontdoor/deliver/index/docId/2591/file/BIM-Bauantrag-Freiraum_Stand_21-08-27_final.pdf

ROLOFF, Andreas (2012): Bäume. Lexikon der praktischen Baumbiologie. 2., völlig neu überarbeitete Aufl., Weinheim: Wiley-VCH

ROLOFF, ANDREAS U. BÄRTELS, ANDREAS (2018): Flora der Gehölze. Bestimmung, Eigenschaften und Verwendung. 5 Aufl., Stuttgart: Ulmer, 914 S.

SCHMIDT, Lauren (2014):
landarchBIM. Planting Plans, Part 3: Areas and Calculated Values. Online verfügbar unter <https://landarchbim.com/2014/03/10/planting-plans-part-3-areas-and-calculated-values/> (aufgerufen am: 08.07.2023)

SCHMIDT, Lauren (2015):
landarchBIM. Planting Geometry: RPC and Solids. Online verfügbar unter <https://landarchbim.com/2015/03/12/planting-geometry-rpc-and-solids/> (aufgerufen am: 07.07.2023)

SCHMIDT, Lauren (2016 a):
WLA. Revit and Landscape Architecture: The Benefits. Online verfügbar unter <https://worldlandscapearchitect.com/revit-and-landscape-architecture-the-benefits/?v=3a52f3c22ed6> (aufgerufen am: 12.07.2023)

SCHMIDT, Lauren (2016 b):
landarchBIM. Automatically Place Plantings in Areas. Online verfügbar unter <https://landarchbim.com/2016/01/27/automatically-place-plantings-in-areas/> (aufgerufen am: 08.07.2023)

SCHMIDT, Lauren (2023):
landarchBIM. Top Three (Toposolid) Features in Revit 2024. Online verfügbar unter <https://landarchbim.com/2023/04/04/top-three-toposolid-features-in-revit-2024/> (aufgerufen am: 08.07.2023)

SECERBEGOVIC, Lejla (2014):
Parameter in Revit verstehen und verwalten. Online verfügbar unter
<https://bim-me-up.com/revit-parameter-verwalten/> (aufgerufen am: 18.07.2023)

SECERBEGOVIC, Arslan (2020): Gemeinsam genutzte Parameter in Revit.
Online verfügbar unter <https://bim-me-up.com/gemeinsam-genutzte-parameter-in-revit/>
(aufgerufen am: 18.07.2023)

TEMMEN, STEFAN U. VON LUCKWALD, KAI (2016): Einführung und Nutzung von BIM in der
Landschaftsarchitektur. Entwicklungspotentiale und Handlungsempfehlungen. HS
Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. Osnabrück.

WIDEMANN SYSTEME GMBH (o. J.):
Landschaftsarchitektur mit der Software WS LANDCAD. Online verfügbar unter
<https://www.widemann.de/produkte/wslandcad/landschaftsarchitektur>
(aufgerufen am: 06.07.2023)

Hinweis: Die in diesem Verzeichnis aufgeführten Anhänge und Dateien wurden von der Veröffentlichung ausgenommen und liegen dieser Bachelorarbeit nicht bei.

ANHANGSVERZEICHNIS

Dieser Arbeit liegt ein Datenträger (USB-Stick) bei, der die folgenden digitalen Anhänge umfasst:

Anhang 1: Darstellungen der Algorithmen in Dynamo

Dateipfad: Anhang\Anhang 1\

- a. 01_(Create) Pflanz- und Saatflächen.png
- b. 02_(Create) Gehölzgruppen aus 'Geländern'.png
- c. 03_(Import) Parameter nach Anwendungsfall.png
- d. 04_(Import) Excel Pflanzendaten.png
- e. 05_(Place) Pflanzensymbole nach CAD-Link.png
- f. 06_(Import) Gruppenpflanzen nach CAD-Link.png
- g. 07_(Change) Pflanzen ID.png
- h. 08_(Place) 3D-Darstellung für Pflanzengruppen.png
- i. 09_(Create) Automatisierte Legende.png
- j. 10_(Place) Automatisierte Legende.png

Anhang 2: Bepflanzungsplan

Dateipfad: Anhang\Anhang 2\Bepflanzungsplan.pdf

Der USB-Stick umfasst darüber hinaus die folgenden Daten, auf die in der Arbeit nicht verwiesen wird:

- Eine digitale Fassung der Abschlussarbeit im PDF-Format
- Projektgrundlagen (Bestandsgebäude (*.rvt), Bestandsmodell (*.rvt), CAD-Grundlage (*.dwg), Pflanzendatenblatt (*.xlsx), Entwurfsvorlage (*.pdf))
- Projektdateien (erarbeitete Dynamo-Skripte (*.dyn), Revit-Familien (*.rfa), Revit-Projekte nach LOD (*.rvt), Revit-Parameter (*.txt))

Des Weiteren liegt der Arbeit ein gedrucktes Exemplar des Bepflanzungsplanes (Anhang 2) als lose Anlage bei.