

Diploma Thesis

BIM in Infrastructure Constructions Construction Modeling

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

BIM im Infrastrukturbau Baubetriebliche Modellierung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Patrick Adam, BSc

Matr.Nr.: 01325831

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Dipl.-Ing. **Andreas Jurecka**

Univ. Ass. Dipl.-Ing. **Bettina Chylik, BSc**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/ 234-1, A-1040 Wien

Wien, im Februar 2020



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

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während meines Studiums sowie beim Verfassen dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, der diese Diplomarbeit betreut und begutachtet hat. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Andreas Jurecka und Frau Univ. Ass. Dipl.-Ing. Bettina Chylik für ihre Betreuung im Rahmen dieser Arbeit bedanken.

Außerdem bedanke ich mich recht herzlich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. Christian Maier für den Rückhalt und die wertvollen Inputs, die er mir zu dem Thema gegeben haben. Weiters möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Lukas Hochreiter für die zahlreichen interessanten Debatten und Ideen bedanken, die maßgeblich dazu beigetragen haben, dass diese Arbeit in dieser Form vorliegt.

Ebenfalls möchte ich mich bei all meinen Studienkollegen bedanken, die mir in meiner Zeit auf der Universität zur Seite gestanden sind. Ihre Hilfsbereitschaft und ihr Teamgeist haben mir geholfen jede Hürde des Studiums zu bewältigen. Einige von ihnen sind zu sehr guten Freunden geworden und haben diesen Abschnitt meines Lebens zu einem sehr besonderen gemacht.

Der größte Dank gilt meiner Familie, die mich auf meinem Werdegang in jederlei Hinsicht unterstützt hat. Ohne ihren Rückhalt wäre es mir nicht möglich gewesen, eine derartige Ausbildung zu genießen. Ich möchte mich besonders bei meinen Eltern und meinem Bruder für ihre bedingungslose Unterstützung bedanken.



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

Kurzfassung

Schlagwörter: Digitalisierung, Building Information Modeling, Baubetrieb, Infrastrukturbau, Erd-
bau, Straßenbau, Ingenieurbau, Datenstrukturen, modellbasierte Mengenermittlung

Die Digitalisierung hat auch das Bauwesen erreicht, und ist im Begriff die konventionellen Prozesse entlang der Wertschöpfungskette von Bauwerken zu revolutionieren. In den letzten Jahren hat sich eine neue digitale Arbeitsweise – das Building Information Modeling (BIM) – etabliert. Dabei handelt es sich um eine kooperative Arbeitsmethodik zur softwareunterstützten Erstellung und Verwaltung eines umfassenden dreidimensionalen digitalen Bauwerkmodells.

Das Modell wird neben seiner Geometrie um alphanumerische Informationen ergänzt, die für seinen gesamten Lebenszyklus von Relevanz sind. Während die Verbreitung von BIM im Hochbau bereits weit vorangeschritten ist, steht die Entwicklung der Methode im Infrastrukturbereich in Österreich noch in ihren Anfangsschuhen. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die entsprechenden Standards und Softwarelösungen in diesem Bereich noch nicht so weit entwickelt sind, wie es im Hochbau der Fall ist. Um diese weiterentwickeln zu können ist es notwendig Erfahrungen über eine Reihe von Projekten zu sammeln.

In der vorliegenden Arbeit sind zunächst die normativen und formellen Grundlagen für die Abwicklung eines Tiefbauprojektes mit BIM aufgezeigt. Dabei werden die Prozesse in der konventionellen Trassenplanung erläutert, um die Unterschiede und Mehrwerte der BIM-Methode besser aufzeigen zu können. Weiters wurde im Zuge eines laufenden Forschungsprojektes mit der Firma ASFINAG eine digitale Modellierung für einen Teilbereich der Anschlussstelle Hirschstetten erstellt. Die generierten Modelle umfassen die Fachdisziplinen Erd-, Straßen- und Ingenieurbau.

Der Fokus liegt dabei auf der Überprüfung der Anwendbarkeit der Auftraggeber-Informationsanforderungen, vorhandener Datenstrukturen sowie der Industry Foundation Classes im Tiefbau. Insbesondere wird genauer auf die notwendigen Rollen, die Kompetenzen, die die Fachplaner mitbringen müssen, und die Organisation der Projektbeteiligten für die Abwicklung eines solchen interdisziplinären Infrastrukturprojektes mit BIM eingegangen.

Überdies sind in den fortführenden Abschnitten die gängigen Methoden zur digitalen modellbasierten Mengenermittlung, Modellkoordination und automatisierten Planableitung beschrieben. Abschließend wird ein Ausblick auf weitere Forschungsthemen gegeben, die zukünftig für das Thema von Interesse sein können. Die geänderten Anforderungen, die sich durch die zunehmende Digitalisierung im Bauwesen ergeben, betreffen alle am Projekt beteiligten gleichermaßen. Um die Durchsetzung dieser Methode gewährleisten zu können ist ein Umdenken aller am Bauprozess Beteiligten von Nöten.



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

Abstract

Keywords: digitalisation, Building Information Modeling, construction management, infrastructure, earthworks, road construction, construction engineering, data structures, model-based quantity take-off

The digitalisation has reached the construction industry and is about to revolutionize the conventional processes along the value chain of buildings. In the last few years, a new digital workflow called Building Information Modeling (BIM) has received more and more attention. BIM is a cooperative working methodology for software-assisted creation and management of a comprehensive three-dimensional digital building model.

The geometry of the model is extended by alphanumeric information relevant for its entire life cycle. Whilst the use of BIM in building construction is already well advanced, the development of the method in civil engineering in Austria is still in early stages. This is due to the fact, that the corresponding standards and software solutions in this area have not yet been developed as far as it is the case in building construction. In order to help develop them further it is necessary to gain experience by working on and evaluating several projects.

This thesis points out the normative and formal foundations for the execution of a civil engineering project with BIM. To show the differences between the two methods, the processes in conventional route planning are compared to those of the BIM method. Furthermore, a digital three-dimensional model was created for parts of a motorway junction project in the course of an ongoing research project with ASFINAG. The generated models include the disciplines earthworks, road construction and construction engineering.

The primary focus in this part of the thesis is on the evaluation of the applicability of the Employer's Information Requirements, existing data structures and the Industry Foundation Classes in civil engineering. Additionally, the necessary roles, the required competences of planners and the organization of the project participants for such an interdisciplinary infrastructure project are examined in more detail.

In the following sections, the common methods for model-based quantity take-offs, model coordination and automatic plan generations are described. In the end different options on further research topics that may be of interest in the future are discussed. The work in this paper shows that the changed requirements resulting from the increasing digitalisation in construction industry affect everyone involved in the construction process equally and, therefore, a reorientation process must take place.



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

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	3
Kurzfassung	5
Abstract.....	7
Inhaltsverzeichnis	9
1 Einleitung.....	13
1.1 Motivation.....	13
1.2 Forschungsfragen	14
1.3 Forschungsmethodik	15
1.4 Forschungsabgrenzung.....	16
1.5 Abkürzungsverzeichnis	17
2 Digitale Arbeitsweisen im Bauwesen mit dem Fokus Tiefbau.....	19
2.1 Begriffserklärungen.....	19
2.2 Building Information Modeling über den Bauwerkslebenszyklus.....	21
2.2.1 Vorgaben des Bauherrn	22
2.2.2 Machbarkeitsstudien.....	23
2.2.3 Planungsphase	23
2.2.4 Ausführungsphase	26
2.2.5 Nutzungsphase	27
2.3 Building Information Modeling im Infrastrukturbau.....	28
2.3.1 Konventionelle Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten	28
2.3.2 BIM für Verkehrsinfrastrukturprojekte	30
2.4 Grundlagen für die 3D-Modellierung von Infrastrukturmaßnahmen.....	31
2.4.1 Gauß-Krüger-Projektion.....	31
2.4.2 Digitales Geländemodell	31
2.4.3 Bodenschichtenmodell	32
2.5 Digitale Mengenermittlung	33
2.5.1 Trassenungebundene Berechnung von Volumenkörpern	34
2.5.2 Trassengebundene Berechnung von Volumenkörpern	36
2.5.3 Trassengebundene Berechnung von Oberflächen.....	39
2.6 Digitaler Datenaustausch.....	41
2.6.1 Industry Foundation Classes (IFC).....	41
2.6.2 BIM Collaboration Format (BCF).....	41
2.6.3 Industry Foundation Classes für Infrastrukturprojekte	42
2.6.4 Extensible Markup Language (XML)	42

2.6.5	Land XML.....	43
2.6.6	Construction Process Integration XML (CPIXML)	43
2.6.7	Digitale Trassendaten	43
3	Digitale Modellierung eines Infrastrukturbauvorhabens	47
3.1	Allgemein.....	47
3.1.1	Projektbeschreibung	47
3.1.2	Anlagenverhältnisse (Bestand).....	48
3.1.3	Baubeschreibung (Neubau)	48
3.1.4	BIM-Verkehrsinfrastrukturforschung (BIM-VIF)	49
3.1.5	Auftraggeber-Informationsanforderungen.....	51
3.2	Koordination der Fachmodelle	53
3.2.1	Modellstruktur.....	53
3.2.2	Projektspezifische Modellgrenzen und Schnittstellen	54
3.2.3	Modellkoordination.....	56
3.2.4	Modellprüfung.....	57
3.3	Fachmodelle auf Basis der Einreichung	59
3.3.1	Geländemodell	59
3.3.2	Erdbaumodell	61
3.3.3	Streckenmodell.....	67
3.3.4	Bauwerksmodell (Ingenieurbauwerke).....	74
3.3.5	Leitungsmodell (E&M = Elektro-maschinelles Modell)	80
3.4	Defizitanalyse.....	81
3.4.1	Defizite in der konventionellen Planung	81
3.4.2	Defizite der BIM-Methode	83
3.5	Koordination am Gesamtmodell – Kollisionsprüfung.....	83
3.6	Planableitung vom Modell	84
3.7	Mengenermittlung	85
3.7.1	Erdbaumodell	85
3.7.2	Streckenmodell.....	86
3.7.3	Bauwerksmodell.....	88
3.8	Verknüpfung mit Leistungsverzeichnis.....	88
3.9	Gebrauchstauglichkeit der IFC-Schnittstelle im Infrastrukturbereich	88
4	Forschungsergebnisse	91
4.1	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse	91
4.2	Beantwortung der Forschungsfragen.....	93
4.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	96
5	Nachspann.....	99

5.1	Abbildungsverzeichnis	99
5.2	Tabellenverzeichnis.....	100
5.3	Literaturverzeichnis.....	100
5.4	Anhang	102



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

1 Einleitung

Aufgrund der Verzögerung und Kostenexplosion einiger Großprojekte in Deutschland wurde 2013 die „Reformkommission Bau von Großprojekten“ ins Leben gerufen. Sie hatte das Ziel gemeinsame Lösungen zu entwickeln, um bei zukünftigen Großprojekten die Kosten und Termine zu wahren. In dem im Juni 2015 veröffentlichten Endbericht [17] der Reformkommission empfiehlt Alexander Dobrindt, der zu diesem Zeitpunkt Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur war, eine neue, moderne und digitale Planungskultur zu etablieren. Die Rede ist von Building Information Modeling (BIM). Mit dieser Methode soll es möglich sein Risiken deutlich zu minimieren, Bauzeiten erheblich zu verkürzen und Kosten spürbar zu senken. Die Philosophie dahinter heißt „erst digital, dann real bauen“.

Vor allem im Bereich der Verkehrsinfrastruktur werden heute noch viele Prozesse nach altem Schema abgewickelt. Die BIM-Methode verspricht eine Optimierung dieser konventionellen Bauprozesse. Die Möglichkeiten erstrecken sich dabei von einer verbesserten Planungsqualität über neue Methoden in der Arbeitsvorbereitung bis hin zur Erstellung eines erhaltungsoptimierten Modells. Letzterem kommt gerade im Infrastrukturbereich ein hoher Stellenwert zu, wenn man die vergleichsweise lange Nutzungsdauer von Verkehrswegen betrachtet.

Dass die Verwendung der BIM-Methode im Hochbau gegenüber dem Einsatz im Infrastrukturbau bereits weiter vorangeschritten ist, ist allgemein bekannt. Sowohl Planer¹ als auch ausführende Unternehmen arbeiten im Hochbau schon seit Jahren mit Modellen um die Vorteile, die diese mit sich bringen, für sich zu nutzen. Doch auch im Infrastrukturbereich kommen schon seit einiger Zeit digitale Arbeitsweisen auf Basis von Modellen zum Einsatz. Der Übergang zu BIM ist dabei fließend und liegt damit näher als man annehmen möchte.

Die folgenden Kapitel dienen der Einführung in die Diplomarbeit und sollen aufzeigen warum ein konkreter Forschungsbedarf besteht. In einem ersten Schritt wird auf die fachliche Motivation der Arbeit eingegangen. Anschließend werden die Forschungsfragen definiert und die Methodik für die Bearbeitung dieser erläutert.

1.1 Motivation

In der jüngeren Vergangenheit hat die Digitalisierung weite Teile der Arbeitswelt erreicht und revolutioniert. Während in einigen Branchen die Vorteile, die der Einsatz von digitalen Technologien mit sich bringt, bereits seit einiger Zeit wohlwollend angenommen werden, wird im Bausektor das Potenzial der Informationstechnologie für die Unterstützung der Projektentwicklung und -bewirtschaftung noch nicht vollständig genutzt. Dabei bietet die Digitalisierung den Akteuren der Bauindustrie die Möglichkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu profitieren und somit die Produktivität zu steigern. Betrachtet man etwa die Entwicklung der Produktivität der Bauindustrie in den vergangenen zehn Jahren in Deutschland, so stieg diese laut Schober [33] um 4 %, während die Produktivitätsentwicklung der gesamten deutschen Wirtschaft in diesem Zeitraum bei 11 % lag. [3, 33]

¹ Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

Die Gründe für diese geringe Produktivitätssteigerung liegen unter anderem in der starken Fragmentierung des Bausektors sowie der komplexen Gesetzgebung. Zusätzlich dämpfen das nicht durchgängige Verwenden von Daten – von der Planung eines Bauvorhabens (BVH) über den Baubetrieb bis hin zur Erhaltung – und der Datenverlust, der zwischen den einzelnen Phasen eines Projektes auftritt, die Produktivität. Weiters ist jedes Bauprojekt sowohl in seiner Architektur als auch in der Konstellation der Projektbeteiligten einzigartig. Dieser Umstand erschwert die Kostenminimierung und Produktivitätssteigerung im Baubetrieb zusätzlich.

Um Produktivitätsverluste zu minimieren, die sich durch die mangelnde Kommunikation der Projektbeteiligten ergeben, ist es notwendig, dass eine Vielzahl von Planern aus verschiedenen Fachgebieten intensiv und kontinuierlich Informationen austauschen. An diesem Punkt setzt Building Information Modeling an. Der Kern von BIM liegt in der konsequenten Vorhaltung, Weitergabe und Weiterverwendung von Gebäudeinformationen in Form eines umfassenden digitalen Bauwerkmodells während der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphase. [3]

1.2 Forschungsfragen

Die vorliegende Diplomarbeit ist Teil einer wissenschaftlichen Gesamtbetrachtung zum Thema „Struktur und Qualität von Datenketten im Betreiben, Planen und Bauen“. Diese Arbeit dient dabei als Basis für weitere Diplomarbeiten, welche als Gesamtheit wesentliche Ergebnisse für eine laufende Dissertation liefern. Die baubetrieblichen Themen der Folgediplomarbeiten umfassen die Überführung des Modells in ein Leistungsverzeichnis (LV), die modellbasierte Ausschreibung, die Verwendung des Modells für die Bauabwicklung (insbesondere für die modellbasierte Abrechnung), das Change-Management, die damit einhergehende As-Built-Planung sowie den Übergang zu einem Modell für das Facility Management (FM).

Im Zuge dieser Diplomarbeit soll die Anwendbarkeit der BIM-Methode in den frühen Phasen eines Infrastrukturprojektes untersucht werden. Dafür ist eine digitale Modellierung für einen Teilbereich des Projektes „Anschlussstelle (ASt) Hirschstetten“ durchzuführen. Die Modellierung hat unter Berücksichtigung des Open BIM Gedankens zu erfolgen. Weiters sind die Eignung des Standardelementkatalogs, der im Zuge des BIM-Verkehrsinfrastrukturforschungs-Projektes (BIM-VIF) erstellt wurde, sowie die Anwendbarkeit der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) auf das vorliegende Projekt auszutesten.

Für die Konkretisierung des Forschungsgebietes werden folgende Forschungsfragen definiert:

- 1) Welche Rollen sind für die Ausarbeitung der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) für ein Infrastrukturprojekt erforderlich?
 - a) Welche Kompetenzen müssen Fachplaner mitbringen, um die Modellierung für ein Tiefbauvorhaben vornehmen zu können?
 - b) Wie muss die Organisation der Projektbeteiligten aussehen, um ein solches Projekt abzuwickeln?
- 2) Wie weit sind die Ergebnisse des BIM-VIF Projektes für die Verwendung im Tiefbau anwendbar?
- 3) Inwiefern sind die Industry Foundation Classes (IFC) im Infrastrukturbereich anwendbar und wie steht es um die Gebrauchstauglichkeit der IFC-Schnittstelle bezogen auf den Open BIM Gedanken?
- 4) Wo liegen die Möglichkeiten und Mehrwerte, die sich durch die Nutzung der BIM-Methode für ein Infrastrukturbauvorhaben ergeben?

1.3 Forschungsmethodik

Für die Beantwortung der in Abschnitt 1.2 definierten vier Forschungsfragen wird folgende methodische Herangehensweise, die auch gleichzeitig die Struktur dieser Arbeit widerspiegelt, gewählt. Im ersten Schritt werden die wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit dem Thema BIM erläutert. Aufbauend auf dieser Nomenklatur wird eine Inhaltsanalyse in Form einer Literaturrecherche zum Thema BIM erstellt. Es wird einerseits auf BIM im Allgemeinen eingegangen und andererseits auf die Besonderheiten, die sich für BIM im Infrastrukturbereich ergeben. Dabei werden die Grundlagen der konventionellen Planung erläutert, um die Unterschiede und Mehrwerte der BIM-Methode besser aufzeigen zu können. In den darauffolgenden Abschnitten werden die Grundlagen der Modellierung und Mengenermittlung von Infrastrukturprojekten beschrieben. Zuletzt wird auf die unterschiedlichen Formate für den digitalen Datenaustausch eingegangen.

Nach diesem ersten theoretischen Teil folgt der Kern dieser Arbeit: die digitale Modellierung. In diesem Teil wird zunächst das vorliegende Projekt genauer beschrieben. Anschließend wird auf die Auftraggeber-Informationsanforderungen und den Standardelementkatalog der BIM-Verkehrsinfrastrukturforschung eingegangen. In den darauffolgenden Kapiteln werden die BIM-Ziele und BIM-Anwendungsfälle (BIM-AwF) der AIA der Reihe nach abgearbeitet. Die Erkenntnisse, die dabei entstehen werden in diesen Kapiteln festgehalten und entsprechen somit in gewisser Weise einem BIM-Abwicklungsplan (BAP). Im letzten Kapitel, den Forschungsergebnissen, werden abschließend die Forschungsfragen beantwortet, ein Ausblick gegeben sowie weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

Die Übersetzung der konventionellen 2D-Planung in ein 3D-Modell, also die Modellierung des Projektes, das Attributieren der erstellten Fachmodelle und das Koordinieren dieser Teilmodelle stellt den größten Teil dieser Arbeit dar. Um all das zu bewerkstelligen ist eine Reihe von BIM-Autorensoftwareprodukten von Nöten. Aufgeteilt nach den definierten Fachmodellen wurde auf folgende Softwarelösungen zurückgegriffen:

- Geländemodell:
 - * Autodesk Civil 3D 2020
- Erdbaumodell:
 - * Autodesk Civil 3D 2020
- Streckenmodell:
 - * RIB iTWO Civil 2019
 - * Autodesk Civil 3D 2020
- Bauwerksmodell:
 - * Brückenbauwerk:
 - i) Autodesk Revit 2020 bzw. das Add-on/ die Erweiterung: SOFiSTiK Bridge Modeler
 - ii) Autodesk Civil 3D 2020
 - * Stützmauer:
 - i) Autodesk Civil 3D 2020
- Leitungsmodell:
 - * Autodesk Civil 3D 2020
- Koordinationsmodell:
 - * Desite MD Pro 2.4.7

Abbildung 1.1 zeigt die Softwarelandschaft auf der Ebene der Teilmodelle für die Bearbeitung des vorliegenden Projektes. Für die vollständige Modellierung der Disziplinen Straßenbau und Ingenieurbau musste aufgrund der Einschränkungen einzelner Softwarelösungen auf mehrere Produkte zurückgegriffen werden.

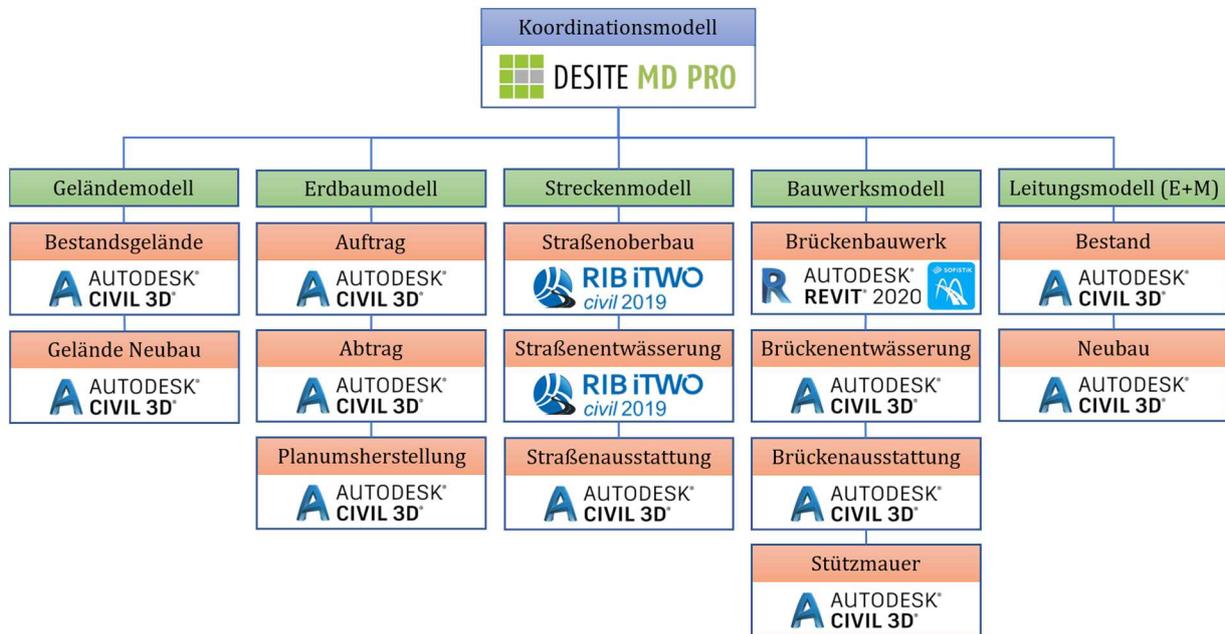


Abbildung 1.1: Softwarelandschaft

1.4 Forschungsabgrenzung

Die Modellierung im Zuge dieser Diplomarbeit dient als Basis für weitere Diplomarbeiten, welche als Gesamtheit wiederum Teil einer laufenden Dissertation zum Thema „Struktur und Qualität von Datenketten im Betreiben, Planen und Bauen“ sind. Die Themen der folgenden Diplomarbeiten sind in chronologischer Reihenfolge die modellbasierte Ausschreibung und Abrechnung, das Change-Management und die damit einhergehende As-Built-Planung sowie der Übergang zu einem Modell für das Facility Management FM. Bestandteil dieser Arbeit sind somit die Erstellung der unterschiedlichen Fachmodelle in der geforderten Modellstruktur, das Zusammenführen dieser Modelle und das Verknüpfen von alphanumerischen Informationen mit dem Modell.

Eine Analyse der Qualität und der Brauchbarkeit der, im Zuge dieser Diplomarbeit erstellten Daten, erfolgt in den oben genannten Anschlussdiplomarbeiten und wird erst dann vollständig möglich sein, wenn das Bauvorhaben fertiggestellt und in der Betriebs- bzw. Erhaltungsphase ist. Mit dieser Diplomarbeit soll es jedoch möglich sein die – über die konventionelle Planung hinausgehenden – Aufwände der digitalen Modellierung eines Infrastrukturbauvorhabens abzuschätzen.

1.5 Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
AG	Auftraggeber
AIA	Auftraggeber-Informationsanforderungen
AN	Auftragnehmer
API	Application Programming Interface
ASB	Anweisung Straßeninformationsbank
ASCII	American Standard Code for Information Inter change
ASt	Anschlussstelle
AVA	Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung
AwF	Anwendungsfall
BCF	BIM Collaboration Format
BIM	Building Information Modeling
BIM-VIF	Building Information Modeling - Verkehrsinfrastrukturforschung
BVH	Bauvorhaben
CAD	Computer-Aided Design
CDE	Common Data Environment
DGM	Digitales Geländemodell
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Global Positioning System
IFC	Industry Foundation Classes
KANIS	Kanal-Informations-System
LB	Leistungsbeschreibung
LB-HB	Leistungsbeschreibung Hochbau
LB-VI	Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur
LOD	Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
LV	Leistungsverzeichnis
MA	Magistratsabteilung
MMS	Merkmalsserver
ÖBA	Örtliche Bauaufsicht
OK	Oberkante
OKSTRA	Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen
PDF	Portable Document Format
REB	Regelungen für die elektronische Bauabrechnung
RFB	Richtungsfahrbahn
TIN	Triangulated Irregular Network
VA	Voraussichtliche Abrechnungsmenge
VOB	Verdingungsordnung für Bauleistungen
XML	Extensible Markup Language



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

2 Digitale Arbeitsweisen im Bauwesen mit dem Fokus Tiefbau

Durch die Digitalisierung im Bauwesen haben sich einige Arbeitsweisen für die Abwicklung von Bauprojekten von Grund auf verändert. Nach der Einführung von CAD-Systemen als erster großer Meilenstein der Digitalisierung ist in den letzten Jahren eine neue digitale Arbeitsweise in den Fokus gerückt. In den folgenden Abschnitten wird diese neue Arbeitsweise – die BIM-Methode – näher untersucht.

2.1 Begriffserklärungen

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Fachbegriffe definiert, die in der weiteren Bearbeitung von zentraler Bedeutung sind.

As-Built-Modell

Aufbauend auf dem Planungsmodell entsteht unter Einarbeitung der digitalen Daten aus der Bauausführung (inklusive etwaiger Änderungen) das As-Built Modell. Dieses stellt somit den errichteten Zustand des Bauwerks in Form eines digitalen Modells dar und kann als Grundlage für das Facility Management herangezogen werden. [27]

Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA)

Die Auftraggeber-Informationsanforderungen – kurz AIA – können als eine erweiterte Leistungsbeschreibung (LB) verstanden werden und sind eine konkrete Beschreibung der Informationsbedürfnisse des Auftraggebers. Sie geben die Anforderungen an Informationen bzw. die Geometrie des Projektes für den Auftragnehmer (AN) an und beinhalten insbesondere die BIM-Ziele, BIM-Anwendungsfälle, BIM-Prozesse und BIM-Lieferanforderungen. [34]

Building Information Modeling (BIM)

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [18] definiert: „Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“

BIM-Abwicklungsplan (BAP)

Der BIM-Abwicklungsplan – kurz BAP – legt die Form und den Prozess der BIM-basierten Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten fest. Durch dieses Dokument werden die Aufgaben, die Verantwortlichkeiten und die Interaktionen von jeder Organisation in Bezug auf die BIM-Informationen und das BIM-Modell definiert. [28]

BIM Collaboration Format (BCF)

Das Open BIM Collaboration Format ist eine Datenschnittstelle zur modellbasierten Kommunikation zwischen den verschiedenen Anwendern (und Softwareprodukten) während des Arbeitsprozesses. Es basiert auf dem IFC-Austauschformat und beinhaltet Informationen wie Status, Ort, Blickrichtung, Bauteil, Bemerkung, Anwender und Zeitpunkt im IFC-Datenmodell. [12]

Closed BIM

Bezeichnung für den Austausch nativer Daten innerhalb eines Projekts unter Verwendung einer einheitlichen BIM-Software und damit einer herstellereigenen (=proprietären) Schnittstelle. [34]

Digitales Geländemodell (DGM)

Ein DGM ist eine lückenlose räumliche Beschreibung einer Oberfläche. Es wird durch das netzartige Verbinden einer Vielzahl von Punkten zu Dreiecksflächen (=Triangulation) gebildet und besitzt einen Bezug zu Weltkoordinaten (Georeferenz). Die Abkürzung DGM wird im Weiteren sowohl für die Einzahl „digitales Geländemodell“, als auch für die Mehrzahl „digitale Geländemodelle“ verwendet.

Digitalisierung

Unter Digitalisierung versteht man die intensive Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologie von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette. Dabei dienen die Software-Tools nicht mehr nur der Unterstützung, sondern verändern auf grundlegende Art und Weise, wie die Geschäfte abgewickelt werden. [33]

Fachmodell

Gewerkspezifisches digitales Modell eines einzelnen Fachplaners. Das Modell wird der Disziplin des Projektbeteiligten entsprechend erstellt und mit alphanumerischen Informationen (Attributen) versehen. [34]

Facility Management (FM) - Modell

Das Facility Management Modell stellt das Modell während der Betriebsphase dar und wird mit Informationen zu Erhaltungsmaßnahmen versehen.

Industry Foundation Classes (IFC)

IFC steht für Industry Foundation Classes und ist ein Datenformat für den Austausch von Informationen zwischen verschiedenen proprietären Software-Anwendungen. Dieses allgemeine Datenschema umfasst Informationen aller am Bauprojekt mitwirkender Disziplinen über dessen gesamten Lebenszyklus und ist seit 2013 ein internationaler Standard (ISO 16739:1). [12]

Koordinationsmodell

Zusammenführung aller Fachmodelle in regelmäßigen Abständen während der Planungsphase um die Gewerke eines Projektes zu koordinieren. [34]

Level of Development (LOD)

Der Level of Development setzt sich aus dem Level of Geometry (LOG) und dem Level of Information (LOI) zusammen und gibt somit den Modelldetailierungsgrad an. Abhängig von der Projektphase gibt es unterschiedliche Anforderungen an den Detailierungsgrad eines Modells (beispielsweise geringere Anforderungen an den LOG/LOI in der Entwurfsphase als in der Ausführungs- oder Erhaltungsphase). Der LOD wird je nach gefordertem Detailierungsgrad in der jeweiligen Phase in eine 100er Skala angegeben.

Die Zuordnung von LOD zur Projektphase könnte beispielsweise folgendermaßen aussehen:

- LOD 100: Grundlagenmodell/ Bestandsmodell
- LOD 200: Entwurfsmodell
- LOD 300: Ausführungsmodell
- LOD 400: Übergabemodell
- LOD 500: Erhaltungsmodell

Level of Geometry (LOG)

Der Level of Geometry gibt den geometrischen Detaillierungsgrad, also die Zeichengenauigkeit, des 3D – Modells an.

Level of Information (LOI)

Der Level of Information gibt den BIM-Anwendern die Anforderungen an die alphanumerischen Informationen (= Attribute) der Bauelemente für die jeweilige Projektphase an. [34]

Open BIM

Um Daten softwareunabhängig zusammenführen bzw. zur weiteren Verarbeitung weitergeben zu können besteht die Möglichkeit der Übergabe in diversen offenen Datenformaten. Die bekanntesten Vertreter sind die Industry Foundation Classes, das BIM Collaboration Format und das LandXML-Format. Open BIM steht somit im Gegensatz zu Closed BIM für die softwareunabhängige Nutzbarkeit von Daten für den Anwender. Weiters erlaubt die Verwendung von offenen Formaten den Fachplanern die freie Wahl der BIM-Autorensoftware.

Planungsmodell

Endzustand des zusammengeführten Modells nach der Planungsphase. [34]

Projektmodell

Zusammenfassung aller Fachmodelle zu einem Gesamtmodell für die jeweilige Projektphase (Planung, Errichtung, Erhaltung). Der Aufbau für das Projektmodell wird in der Regel von der BIM-Projektsteuerung vorgegeben. [34]

2.2 Building Information Modeling über den Bauwerkslebenszyklus

Die herkömmliche Planung von Bauwerken im Hoch- und Tiefbau erfolgt auf Basis von zweidimensionalen Plänen, die die vertragliche Grundlage für die Bauausführung bilden. Bei der Beschreibung eines Bauwerks in Grundrissen, Aufrissen und Schnitten können jedoch Diskrepanzen zwischen diesen auftreten. Diese Abweichungen können von Computer Aided Design (CAD) - Programmen nicht automatisiert erkannt werden. Um diesem Umstand entgegenzuwirken wurde eine neue Generation von Planungswerkzeugen entwickelt, die auf Basis eines 3D-Bauwerkmodells arbeitet und so eine konsistente Ableitung von Plänen gewährleistet. [2]

Unter dem Begriff „Building Information Modeling“ per sé versteht man die softwareunterstützte Erstellung, Abänderung und Verwaltung eines umfassenden dreidimensionalen digitalen Bauwerkmodells. Neben der 3D-Geometrie wird das Modell um nicht-geometrische alphanumerische Informationen (=Attribute), wie etwa Typinformationen, technische Eigenschaften, Funktion, Kosten u.v.m. ergänzt. Der Kern von BIM liegt jedoch in der konsequenten Weiternutzung

von Daten über den Bauwerkslebenszyklus. Durch die Weitergabe der generierten Daten, von der Planungsphase bis hin zum Rückbau, können Fehler bei der aufwendigen Wiedereingabe von Daten minimiert werden. [3]

In den folgenden Abschnitten wird auf die Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile von BIM in den unterschiedlichen Projektphasen nach Abbildung 2.1 eingegangen.

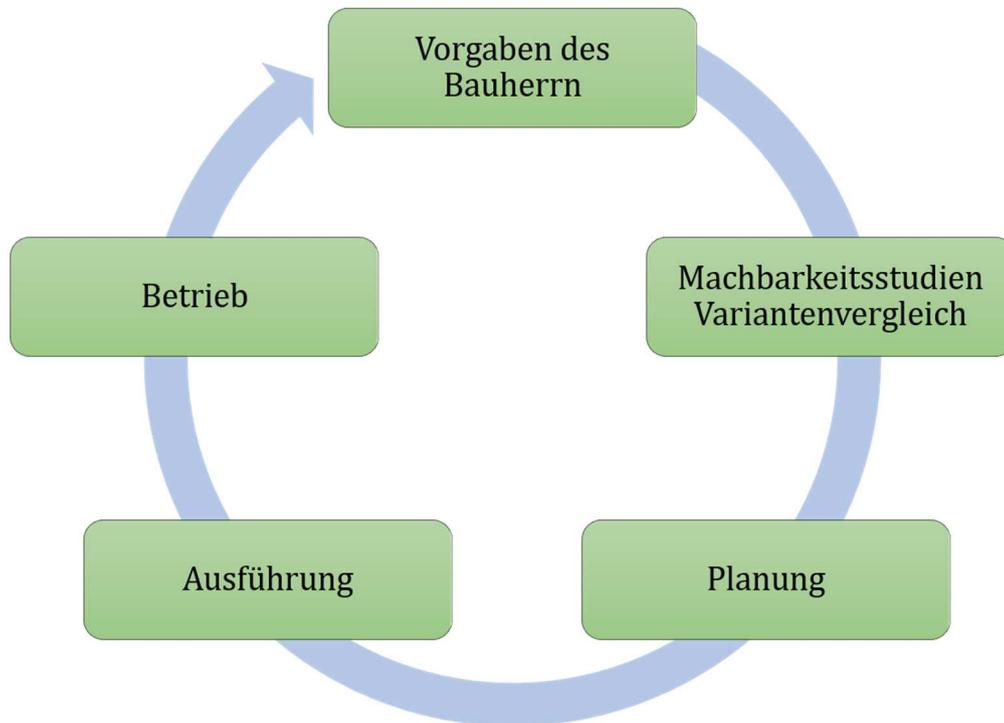


Abbildung 2.1: Bauwerkslebenszyklus (modifiziert nach Gaudart [23], S.8)

2.2.1 Vorgaben des Bauherrn

Am Anfang eines jeden Bauprojektes steht die Definition der Ziele und Erwartungen durch den Auftraggeber. Ohne diese Definition ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass das Projekt nicht so verläuft wie gewünscht. Um dies zu verhindern sind die Vorgaben seitens des Bauherrn so klar wie möglich zu definieren.

Beim klassischen Bauprojekt gibt der Bauherr die Art des Bauwerks, dessen Architektur und Nutzungsdauer vor. Auf Basis der ökologischen Vorgaben und der geplanten Art der Nutzung wird eine Vorplanung vorgenommen. Mit der BIM-Methodik fließen neben den oben genannten Vorgaben Erfahrungen und detaillierte Informationen aus dem Betrieb ein. Zusätzlich werden Informationen wie technische Eigenschaften von Bauteilen, Art und Umfang von Instandhaltungsmaßnahmen und die Möglichkeiten eines Bauwerkrückbaus in der Vorplanung berücksichtigt. Durch die Nutzung der BIM-Methodik ergeben sich in dieser Phase des Projektes eine Reihe von neuen Aufgaben. Dazu zählen beispielsweise die Vorgabe erster Datenstrukturen, die Festlegung der Art und des Umfangs des Betriebs sowie die Erstellung eines Pflichtenheftes, welche die Informationsanforderungen für das Projekt definiert. [23]

Auf Basis der festgelegten Vorgaben durch den Bauherrn können nun mehrere Varianten ausgearbeitet werden. Durch eine anschließende Machbarkeitsstudie und einen Variantenvergleich soll die bestmögliche Option ermittelt werden.

2.2.2 Machbarkeitsstudien

Im klassischen Verfahren wird ein Projekt anhand mehrerer Varianten untersucht und entwickelt ehe die Entscheidung für eine Variante fällt und diese zur Planung freigegeben wird. In dieser Phase unterstützt BIM die Entscheidungsfindung durch eine Weiterentwicklung des Projekts. Durch die Visualisierung des Modells in 3D und einer Interaktion mit der Tragwerksplanungssoftware ist eine Plausibilitätsprüfung leichter möglich. Weiters besteht bereits in dieser Phase des Projekts die Möglichkeit einer einfachen Simulation und Abschätzung der Erhaltungs- und Lebenszykluskosten für einzelne Optionen. Durch diese fundierteren Varianten bzw. die höhere Anzahl von Varianten ist zuletzt nicht nur ein vorzeitiges Erkennen von Ausschlusskriterien, sondern auch eine bessere Kommunikation mit der Öffentlichkeit möglich. [23]

Das Ergebnis aus dem beschriebenen Variantenvergleich ist die Festlegung auf ein einziges Ausführungsmodell. Dieses soll in der nächsten Phase – der Planungsphase – weiter verfeinert werden und in weiterer Folge als Basis für die Ausführung dienen.

2.2.3 Planungsphase

BIM ist ein Prozess, dessen Vorteile vor allem dann optimal genutzt werden können, wenn er bereits in den frühen Phasen eines Projektes zum Einsatz kommt. Während für die beiden vorangegangenen Phasen noch wenige Erfahrungswerte vorhanden sind, ist die Methode in der Planungsphase bereits weit verbreitet. Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen der konventionellen Planung erläutert, um die Unterschiede zur BIM-Methode besser aufzeigen zu können.

Konventionelle Planung

Im klassischen Bauprojekt werden zweidimensionale Planungsunterlagen mit Fokus auf die Ausführung sowie ein Leistungsverzeichnis mit den durchzuführenden Bauleistungen erstellt. Auf Basis dieser beiden Vorgänge erfolgt eine Abschätzung der Errichtungskosten und eine Freigabe der Planung durch den Auftraggeber. Bei öffentlichen Vergaben ist es üblich die einzelnen Planungsphasen stufenweise zu beauftragen. Dabei werden die Planungsleistungen für die jeweiligen Phasen meist an unterschiedliche Planer vergeben. Durch diesen Umstand ergeben sich Schnittstellen, an denen Informationen verloren gehen können. Doch nicht nur die Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Planern machen Probleme. Oftmals ist die Durchgängigkeit innerhalb eines Planungsschrittes nicht vorhanden. Bestes Beispiel ist etwa das getrennte Erstellen und Bearbeiten von Tragwerks- und Objektplänen, aufgrund nicht vorhandener Schnittstellen für den Datenaustausch. Während in den frühen Phasen eines Projektes die Planungsleistungen vom Bauherrn selbst übernommen bzw. beauftragt werden, erfolgen die Planungsleistungen für die Ausführung und Detailfragen oftmals vom ausführenden Bauunternehmen. Bei diesem Wechsel des verantwortlichen Planers kommt es also auch zu einem Bruch im Informationsaustausch. Abbildung 2.2 zeigt die beschriebenen Informationsverluste zwischen den unterschiedlichen Phasen eines Projektes. [23, 39]

Diese Informationsverluste ergeben sich vor allem weil die Übergabe von Eingangsinformationen und Planungsdaten oft noch rudimentär ist. So werden Pläne etwa nur in Papierform oder Daten, wie z.B. Baugrundgutachten, in Form von Text- oder Scan Dateien übergeben. Bei der Übergabe von digitalen Zeichenformaten kommt es wiederum oft zu Kompatibilitätsproblemen zwischen den CAD-Systemen. Aber auch bei der Übergabe von kompatiblen digitalen Daten, müssen diese noch einer Qualitätsprüfung unterzogen werden. [39]

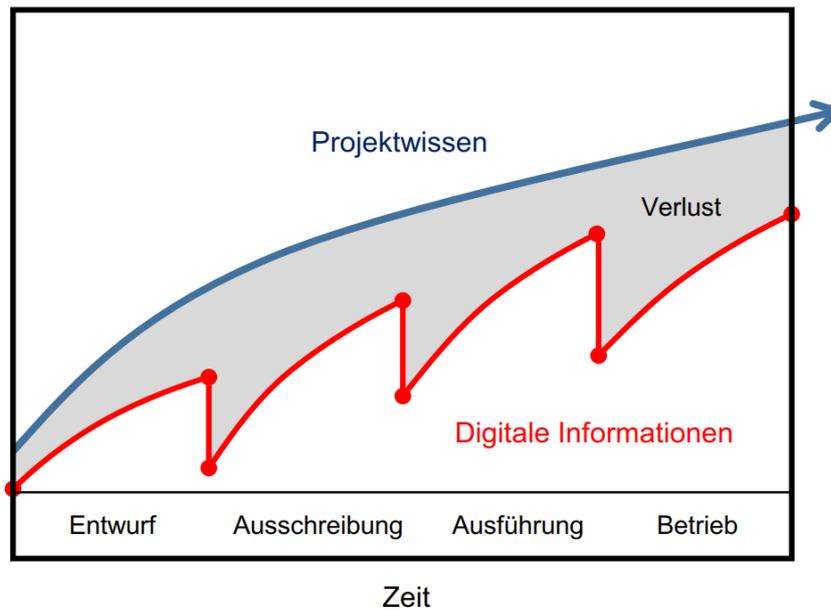


Abbildung 2.2: Informationsverluste über den Lebenszyklus (Quelle: Borrmann [3], S.3)

Doch nicht nur dieses Problem der analogen bzw. digitalen Datenübergabe führt zu den dargestellten Informationsbrüchen. Oftmals werden Informationen nach der erfolgten Übergabe weggefiltert oder erst gar nicht übergeben, weil sie für die jeweilige Phase nicht von Relevanz scheinen. Fehlen diese Daten in einer späteren Phase, in der sie durchaus wieder von Bedeutung sein können, müssen sie erneut eingegeben werden. In den Datenverlust fällt auch das bewusste Zurückhalten von Informationen im Sinne des geistigen Eigentums.

Zusammenfassend gibt es also sowohl Defizite in der durchgängigen Nutzung von Informationen während der Planungsphase selbst als auch in der anschließenden Weiternutzung von Daten in der Ausführungsphase. Die modellbasierte digitale Planung soll diese Defizite in der konventionellen Planung beheben.

Modellbasierte Planung – BIM Planung

Im Gegensatz zu den – im konventionellen Bauprojekt erstellten – 2D-Planunterlagen mit dem alleinigen Fokus auf die Ausführung werden durch eine modellbasierte digitale Planung sowohl die Planungsprozesse verbessert als auch die Organisation und Abwicklung in der Ausführungs- und Nutzungsphase. Dies wird durch das durchgängige Arbeiten an einem Modell in allen Projektphasen gewährleistet. [23, 39]

Für den Planungsprozess eines Bauwerks ergeben sich durch die BIM-Methode einige Vorteile. An die Stelle von 2D-Plänen, die keinerlei Bezug zu einander aufweisen, tritt ein dreidimensionales Bauwerksmodell, aus dem Planunterlagen automatisiert abgeleitet werden können. Kommt es zu Änderungen im Modell, so werden diese automatisch in allen Ansichten und Schnitten für die Planableitung mitgeführt. Die Durchgängigkeit der Planung ist somit jederzeit gegeben. Weiters können die dreidimensionalen Bauteile durch Interaktion mit einer Tragwerksplanungssoftware zur automatischen Generierung von Bewehrungsplänen herangezogen werden. Durch das Verknüpfen mit Bauzeitplänen können Bauablaufsimulationen erstellt werden. Dies ermöglicht die Abbildung und Untersuchung von Zwischenbauzuständen noch vor Baubeginn und erlaubt die Durchführung einer Kollisionskontrolle um frühzeitig Konflikte zwischen den Gewerken aufzuzeigen. Durch solche Simulationen können Bauabläufe bereits in der Planungsphase

weitestgehend optimiert werden. Schließlich ist eine sehr genaue Mengenermittlung auf Grundlage des Modells möglich. Diese ist wiederum Basis für eine zuverlässige Kostenschätzung und beschleunigt das Erstellen des Ausschreibungsleistungsverzeichnisses. [3, 23, 39]

Im Gegensatz zur konventionellen Planung ist bei der BIM-Planung der Aufwand und die damit verbundenen zeitlichen und finanziellen Investitionen in den frühen Phasen der Planung höher, weil hier bereits ein umfassendes digitales Modell erstellt und koordiniert werden muss. Es ergibt sich dadurch jedoch der Vorteil, dass dieses Modell bereits in einer frühen Phase für erste Berechnungen verwendet werden kann und auf diese Weise unterschiedliche Entwurfsoptionen untersucht und Auswirkung von Varianten des Angebots auf den Betrieb geprüft werden können. Durch die mit der BIM-Methodik einhergehende erhöhte Entwurfsqualität kommt es weiters zu einer Fehlerminimierung in späteren Projektphasen. Abbildung 2.3 zeigt diese Verlagerung der Aufwände in die frühen Phasen eines Bauprojekts, wo die Kosten für Planungsfehler noch gering sind und der Einfluss auf die Kosten noch groß ist. Um die Vorteile, die die BIM-Methode in der Planungsphase mit sich bringt, auch in der Praxis umsetzen zu können müssen neue vertragliche Vereinbarungen für die Vergütung solcher Modelle getroffen werden. [3, 23, 39]

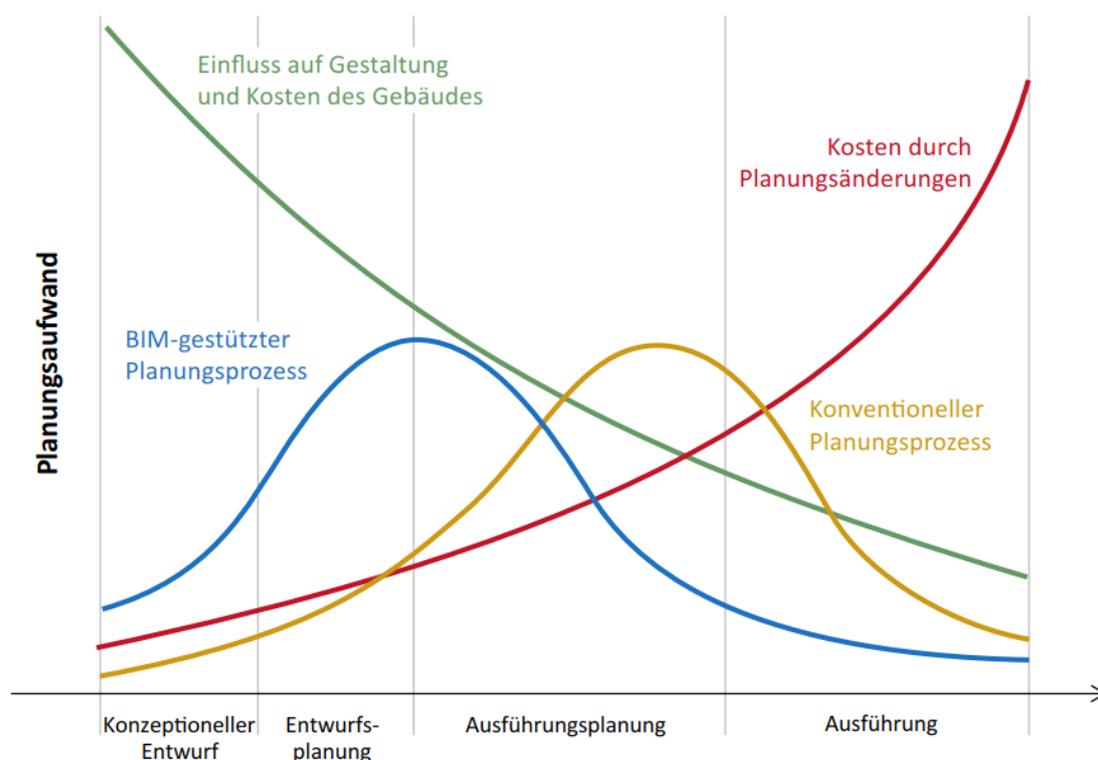


Abbildung 2.3: Einfluss auf Gestaltung und Kosten eines Gebäudes (Quelle: Borrmann [3], S.6)

Neben diesen Vorteilen weist die BIM-gestützte Planung jedoch noch Schwächen auf. So können die entstandenen Modelle bis dato oft noch nicht durchgängig genutzt werden, da die entsprechenden Schnittstellen fehlen und die generierten Informationen wieder auf 2D-Zeichnungen reduziert werden müssen. Weiters fehlt für eine gesamtheitlich durchgängige 3D-BIM Planung noch die Software. Zwar gibt es für Einzelbereiche bereits sehr gute Lösungen, eine Anwendung, die alle Planungsprozesse abbilden kann, existiert derzeit aber nicht. Daher ist für die modellbasierte Planung eine standardisierte, zertifizierte und allgemein gültige Schnittstelle zum Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Softwarelösungen erforderlich. [39]

Prinzipiell ist festzuhalten, dass es durch die modellbasierte Planung zu einer Erhöhung der Aufwände in der Planungsphase kommt. Damit gehen jedoch eine bessere Planungsqualität und viele weitere Vorteile einher. Durch die Bereitstellung des Modells für Bieter während dem Angebotszeitraum können Mengen einfacher plausibilisiert und das Modell einem zusätzlichen Prüflauf unterzogen werden. Letztlich muss es das Ziel sein das erzeugte Planungsmodell nach der Vergabe der Bauleistungen im Sinne eines Ausführungsmodells fortzuschreiben.

2.2.4 Ausführungsphase

Um die Neuerungen, die sich durch die Anwendung der BIM-Methodik in der Ausführungsphase ergeben, besser herausheben zu können werden zunächst die baubetrieblichen Prozesse in der klassischen Bauausführung erläutert.

Im konventionellen Bauprojekt erfolgt die Beauftragung des Bestbieters durch den AG nach dem Eingang der Angebote auf Grundlage des Leistungsverzeichnisses. Auch die anschließende Bauausführung durch die ausführenden Unternehmen erfolgt anhand des Leistungsverzeichnisses. Dies bringt jedoch noch einige Schwächen mit sich. Durch die (bei jedem Projekt vorhandenen) Mengenunsicherheiten aufgrund der 2D-Erfassung des Bauwerks ist eine ständige Anpassung der Mengen an die Gegebenheiten von Nöten. Weiters sind bei auftretenden Schnittstellenproblemen häufig Nachträge erforderlich. Hinzu kommen die ständige Terminunsicherheit und der enorme Kostendruck. Aufgrund dieser Rahmenbedingungen werden viele Leistungen inklusive der notwendigen Planung an Subunternehmer des Auftragnehmers weitervergeben. Dies führt zu einer Verteilung der Verantwortlichkeiten und einer Vielzahl zusätzlicher Schnittstellen, an denen es wiederum zu Informationsbrüchen kommen kann. Ein weiteres Problem stellen die immer komplexer werdenden Bauprojekte dar. Während der Aufwand für die Vorbereitung solcher Projekte steigt, steht gleichzeitig immer weniger Zeit zwischen Vergabe der Bauleistungen und Baubeginn zur Verfügung. Wegen des Zeitdrucks, der sich daraus ergibt fehlt die Möglichkeit die Auswirkungen von Varianten auf den Betrieb zu prüfen. [23, 39]

In der Vorbereitung und Begleitung der Bauausführung schafft die Nutzung der BIM-Methodik weitere Vorteile. So erleichtert sie etwa durch die Bereitstellung und kontinuierliche Fortschreibung eines 3D-Modells die Aufwandsermittlung für die Angebotsabgabe und vereinfacht die Arbeitsvorbereitung. Kombiniert man dieses Modell als vierte Dimension mit der Zeit, so kann der Bauablauf simuliert und damit der Baufortschritt direkt am Modell dokumentiert werden (=Visualisieren von Bautagesberichten). Treten etwaige räumliche Kollisionen auf, so können diese frühzeitig erkannt und Entscheidungen zu deren Behebung rasch getroffen werden. Werden diese nicht erkannt und es kommt zu Abweichungen in der Ausführung, so können diese über Fotos direkt am betroffenen Bauteil im Modell verortet werden. Außer dem können die Baustellenlogistik und die Materialdisposition leichter koordiniert und ein Mängelmanagement aufgesetzt werden. Zu guter Letzt ist die BIM-Methodik auch ein mächtiges Controlling Tool, denn mit Hilfe des Modells können Bauleistungen in Echtzeit abgerechnet und somit stets ein Überblick über die Gesamtkosten gewahrt werden. [3, 23, 39]

Zusammenfassend können die Prozesse der Arbeitsvorbereitung, Kalkulation und Abrechnung durch das Arbeiten mit einem Modell in der Ausführungsphase optimiert werden. Durch das Fortschreiben des Planungsmodells (Ergänzung des Modells um Daten aus der Ausführung, laufende Einarbeitung von Änderungen) wächst das Ausführungsmodell mit und schlussendlich entsteht ein umfassendes Bestandsmodell. Dieses bildet die Grundlage für die weitere Bauwerksnutzung (Facility Management).

2.2.5 Nutzungsphase

Verglichen mit den vorangehenden Projektphasen – der Planungs- und Ausführungsphase – ist die Nutzungs- bzw. Betriebsphase die längste Phase innerhalb des Lebenszyklus von Infrastrukturbauwerken. Umso geringer ist zurzeit die Aufmerksamkeit, die dieser vergleichsweise langen Phase in der Planung zukommt.

So gibt es etwa noch kein einheitliches und langlebiges Datenmanagementsystem. Im konventionellen Bauprojekt werden vorhandene digitale Daten zwar auf Festplatten oder in Datenbanken archiviert, parallel dazu wird jedoch noch eine Bauwerksakte in gedruckter Form geführt. Für den Betrieb und die Instandhaltung von Bauwerken sind vielerlei Dokumente und Informationen von Interesse. Dazu zählen statische Berechnungen, Prüfzeugnisse, Baustoffkenndaten und Planunterlagen. Neben diesen Dokumenten, die bereits weitestgehend gesammelt werden, können jedoch auch Informationen zu Bauabläufen und -behelfen für die Instandhaltung von Interesse sein. Diese Daten liegen nur dem ausführenden Unternehmen vor, und werden häufig unzureichend aufbereitet oder gar nicht an den Bauherren übergeben. Neben diesem Problem der unzureichenden Bauwerksdatenverwaltung (fehlende oder falsche Dokumentation/ Bestandspläne) gibt es noch weitere Schwächen. So steht in einem klassischen Bauprojekt etwa die technisch und wirtschaftlich optimierte Planung und Ausführung des Bauwerks im Vordergrund. Der Betrieb wird dabei oft nicht in Betracht gezogen, was zu wartungsintensiven Bauweisen führt. Weiters sind Mängel nur umständlich nachverfolgbar bzw. zuordenbar und eine nachträgliche Bestandserfassung von Mengen gestaltet sich als sehr aufwendig. [23, 39]

Im Gegensatz zur konventionellen Vorgehensweise ist die Nutzung des Bauwerks bei Anwendung der BIM-Methode bereits eine Grundlage für die Erstellung des Modells und es entsteht so eine betrieboptimierte und damit wartungsfreundlichere Bauweise. Aufgrund der durchgehenden digitalen Planung des Projektes wird dem Problem der unzureichenden Bauwerksdatenverwaltung entgegengewirkt. Durch Bauwerksmonitoringsysteme können im Sinne einer Zustandserfassung Setzungen, Verschiebungen, Schwingungen etc. gemessen, überwacht und die Ergebnisse an das Modell geheftet werden. Dies ermöglicht es Inspektionen besser zu steuern und Wartungsmaßnahmen besser zu planen. Weiters können auftretende Mängel oder Schäden direkt im Modell verortet und automatisiert Anweisungen zu deren Behebung für den Anwender generiert werden. [23]

Im Falle eines Hochbauprojekts kann der Bauherr das BIM-Modell, welches vom Planer übergeben und vom Bauunternehmen mit Informationen aus der Ausführung ergänzt wird, für das Facility Management verwenden. Er kann beispielsweise Informationen zu Raumgrößen, technischen Geräten – einschließlich ihrer Wartungsintervalle – oder Elektro- und Haustechnikanschlüssen direkt übernehmen. Ein weiterer Vorteil besteht in der Kenntnis der verbauten Materialien, welche in Form von Attributen im Modell festgehalten sind. Diese Kenntnis ermöglicht bei Umbau- oder Rückbauarbeiten eine umweltgerechte Entsorgung bzw. das Recycling von Baustoffen. Um all die Vorteile der BIM-Methodik nutzen zu können kommt der Pflege des Modells und der Einarbeitung von Änderungen eine entsprechend hohe Bedeutung zu. [3]

Um die Vorteile, die BIM für die Nutzungsphase mit sich bringt, nutzen zu können, ist es notwendig auftretende Mängel, durchgeführte Instandhaltungen sowie Ergebnisse aus Monitoringsystemen gewissenhaft zu dokumentieren und im FM-Modell festzuhalten. Nur so lässt sich der aktuelle Zustand eines Bauwerks abschätzen und in weitere Folge eine Erhaltungsstrategie ableiten.

2.3 Building Information Modeling im Infrastrukturbau

Die in Abschnitt 2.2 festgehaltenen Ergebnisse zum Thema BIM über den Bauwerkslebenszyklus gelten für den Infrastrukturbau gleichermaßen wie für den Hochbau. Weil die BIM-Planung im Hochbau bereits sehr ausgereift ist, Trassen bis heute hingegen fast ausschließlich zweidimensional geplant werden, liegt der Fokus in diesem Abschnitt auf der Planung von Infrastrukturprojekten.

2.3.1 Konventionelle Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten

Die konventionelle Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten erfolgt in der Regel getrennt nach den Gewerken Straßen- und Ingenieurbau. Während der Straßenplaner oftmals als Leitplaner ernannt wird und für die klassischen Trassierungsaufgaben verantwortlich ist, baut der Brückenplaner auf dessen Ergebnissen auf. Um die daraus bedingten Abhängigkeiten besser nachvollziehen zu können, sollen zunächst die Grundlagen der Trassenplanung näher erläutert werden.

Die Planung einer neuen Trasse, vom ersten Entwurf bis hin zur Ausführungsplanung, unterliegt einigen schwierigen Randbedingungen und erfordert eine äußerst hohe Kompetenz von allen Beteiligten. So spielen etwa politische Hintergründe, umwelttechnische Randbedingungen, rechtliche Belange sowie die Geländeverhältnisse eine Rolle bei der Wahl des Trassenverlaufs. Nach der Wahl der Trassenführung ist die Aufnahme des ursprünglichen Geländes der erste Schritt in der Trassenplanung. Dieses Urgelände kann aus bestehenden Katasterplänen übernommen oder durch eigens für das Projekt aufgenommene Messpunkte, im Sinne einer Bestandsvermessung mit Tachymeter, Global Positioning System (GPS) oder Lasermessgerät erfasst werden. Die Punkte werden dann netzartig zu Dreiecksflächen verbunden (=Triangulation) und ergeben somit eine lückenlose räumliche und vor allem georeferenzierte Beschreibung der Geländeoberfläche in Form eines digitalen Geländemodells. Neben den Punkten ermöglicht das Definieren von Bruchkanten und Begrenzungslinien eine zusätzliche Erhöhung der Genauigkeit. [2]

Die eigentliche Planung der Trasse erfolgt der Reihe nach in drei zweidimensionalen Ebenen. In einem ersten Schritt wird die Linienführung der Trasse im Grundriss durch Geraden, Übergangsbögen und Kreisbögen beschrieben. Anschließend wird das Urgelände entlang der im Lageplan definierten Achse geschnitten und ergibt somit den Höhenplan. Auf Basis von diesem Längsschnitt kann nun der Höhenverlauf (Gradiente) der Achse, in Form von Geraden und Ausrundungen in Hoch- und Tiefpunkten, definiert werden. Im letzten Schritt werden Querprofile, mit der Abbildung von Fahrbahnaufbau und -breiten, Entwässerungsanlagen sowie Böschungskörpern in regelmäßigen Abständen entlang der Achse zugeordnet. Die Intervallgröße gibt damit die Genauigkeit der Trassenabbildung vor. Erst die Überlagerung dieser drei verschiedenen zweidimensionalen Ebenen - Grundriss (Lageplan), Längsschnitt (Höhenplan) und Querschnitt (Querprofil) - stellt die eigentliche Trasse im Raum dar. Die Arbeit in diesen drei Entwurfsebenen reduziert somit die Komplexität der Trassenplanung und erlaubt eine dreidimensionale Planung ohne tatsächlich ein 3D-Modell erzeugen zu müssen. [2]

Auf dem Markt gibt es für die computergestützte Planung von Trassen bereits einige Softwarelösungen, die auf diesem 2D Ansatz basieren. Während einige bereits nach Änderungen in einer Entwurfsebene automatisch die anderen Perspektiven aktualisieren, was zumindest die Durchgängigkeit der Planung unterstützt, muss in den meisten CAD-Systemen noch auf die „BIM-Funktionalitäten“ verzichtet werden. Dazu zählen etwa die Erstellung einer vollständig definierten 3D-Konstruktion mit umfassenden Möglichkeiten zur Prüfung der geometrischen Plausibilität bzw. Kollisionskontrolle, die Erstellung einer Bauablaufsimulation sowie Tools zur

Ausführungsoptimierung. Weiters werden z.B. für die Berechnung von Erdmengen in einigen Softwarelösungen vereinfachte analytische Verfahren (etwa der Vergleich von Umgebungs-DGM mit Profil-DGM) angewandt, was Ungenauigkeiten in der Mengenermittlung zur Folge hat. Grundlegerend ist festzuhalten, dass eine exakte Mengenermittlung mit einer reinen zweidimensionalen Planung nicht machbar ist. Weitere Einschränkungen in der 2D-Planung ergeben sich bei Änderungen in den Randbedingungen der Trasse. So können etwa Bestandsbauten, Querungen und Einmündungen anderer Trassen zu Problemen führen. Weiters können Veränderungen im Querschnitt den wechselnden Kausalitäten entsprechend zwar durch unterschiedliche Regelquerschnitte erfasst werden, dennoch müssen kritische Bereiche manuell als solche erkannt und einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. [2]

Für die Bauausführung reicht es nicht aus die Trasse lediglich an den Punkten, an denen Querprofile berechnet wurden, zu beschreiben. Es sind vor allem die räumliche Verteilung der Bau-massen und die Baustellenlogistik von Interesse. Ein weiteres Problem liegt in der Einarbeitung von Änderungen während der Ausführungsphase, beispielsweise bei der Fortschreibung von Ausführungsplänen. Durch die Abhängigkeit der drei Ansichten von einander können bei Änderungen in einer Ebene Konflikte in einer anderen auftreten. Gleiches gilt auch für Änderungen in der Planungsphase. Für die Bauausführung kommt der Umstand hinzu, dass Änderungen, die während des Bauprozesses auftreten, wegen des großen Aufwandes häufig nicht elektronisch erfasst werden. Dies kann bei einer anschließenden Planung jedoch zu Fehlern führen. Ein weiteres Problem liegt in der Übergabe der Daten. Diese müssten während der Planungsphase an nachfolgende Gewerke wie z.B. Brückenplaner weitergegeben werden. Oft findet zwischen den einzelnen Planungsprozessen jedoch kein Austausch von bestehenden Daten statt, was eine redundante Planung nach sich zieht. Auch bei der Übergabe von Daten aus der Planung an die ausführenden Bauunternehmen kann es zu Schwierigkeiten kommen. Zwar lassen sich die einzelnen zweidimensionalen Trassendaten in digitaler Form austauschen, ein standardisierter Transferprozess, der sämtliche Projektbeteiligte mit den erforderlichen Teilinformationen versorgt und die Planung der Trasse in einem zentralen 3D-Modell erlaubt, ist jedoch nicht möglich. [2]

Um den Planungsprozess von Verkehrsinfrastrukturprojekten zu vervollständigen, folgt anschließend an die Trassenplanung die Planung der Ingenieurbauwerke. Dazu zählen neben Stützmauern, Tunneln und kleineren Unterkonstruktionen (für z.B. Lärmschutzwände, Überkopfwegweiser) aus Stahlbeton vor allem Brückenbauwerke. Weil im Zuge der in Abschnitt 3 beschriebenen digitalen Modellierung eines Teilbereichs der Anschlussstelle Hirschstetten ein Brückenbauwerk konstruiert werden soll, wird im Folgenden näher auf die Vorgehensweise bei der klassischen Brückenplanung eingegangen.

Für die Erstellung eines Brückenentwurfs dient die zuvor geplante (und genehmigte) Trasse als Grundlage. Dazu werden die Trasseninformationen, wie georeferenzierte Lage, Höhenverlauf und umgebendes Gelände, in Form von 2D-Plänen an den Brückenplaner übergeben. Liegen diese Daten in elektronischer Form vor, müssen sie in den Grundriss und den Längsschnitt des Brückenbauwerks übersetzt werden („abwickeln der Achse“). Liegen sie in Form von gedruckten Plänen vor, muss die Achse und der Höhenverlauf zuerst rekonstruiert werden bevor mit der eigentlichen Planung begonnen werden kann. Eine weitere Möglichkeit ist die Übergabe der Achsdaten in Form von elektronischen Plandatensätzen (siehe Abschnitt 2.6.7). Bei der Verwendung von elektronischen Plandatensätzen muss jedoch beachtet werden, dass viele CAD-Systeme Klothoiden nicht darstellen können und diese auf Kosten der geometrischen Genauigkeit nur annähern. [2]

Auf Basis der rekonstruierten Brückenachse erfolgt die Konstruktion der einzelnen Bauteile wie Überbauquerschnitt, Fundamente, Widerlager, Pfeiler, Lager usw. Für die Ausführungsplanung, welche dem beauftragten Bauunternehmen bei der Errichtung des Brückenbauwerks und bei der Arbeitsvorbereitung assistiert, werden diese Bauteile bis ins kleinste Detail konstruiert und in den verschiedensten Schalungs- und Bewehrungsplänen dargestellt. Die bis heute übliche 2D-Planung weist jedoch einige Schwächen auf. Befindet sich eine Brücke etwa in einer Kurve oder Klothoide im Lageplan und gleichzeitig in einer Kuppe oder einer Wanne im Höhenplan, so muss jeder Punkt – unter Berücksichtigung des vorliegenden Quergefälles – händisch berechnet und in die jeweiligen Schnitte eingetragen werden. Dieser Vorgang ist äußerst zeitaufwendig und fehleranfällig. Vor allem wenn es zu kurzfristigen Änderungen in Querneigung, Gradienten oder Lage der Trasse kommt, muss ein großer Teil neu konstruiert werden. Durch die Beschreibung des Bauwerks in Grundriss und Schnitten kann die komplexe Geometrie oft nicht von allen Beteiligten richtig interpretiert werden, was im schlimmsten Fall zu Mängeln in der Ausführung führen kann. Oft wird auf Grund der komplizierten Geometrie gar auf die korrekte Darstellung verzichtet, was wiederum das direkte Ablesen der Abmessungen unmöglich macht. Weiters müssen einige Ansichten mehrmals gezeichnet werden, weil je nach Art des Plans (Übersichtslageplan, Entwässerungslageplan, Schalungsplan, Bewehrungsplan etc.), die unterschiedlichsten Inhalte relevant sind. Will man Bauzustände darstellen, wie es etwa beim Taktschiebverfahren gefordert wird, muss jeder Zwischenzustand neu konstruiert werden. Der oben beschriebene hohe Konstruktionsaufwand führt oft dazu, dass keine Zeit für Optimierungen oder die Planung von Alternativen bleibt. [2]

Mit den oben beschriebenen Arbeitsweisen der konventionellen Planung von Straßen und Ingenieurbauwerken gehen einige Schwächen einher. Durch das getrennte Bearbeiten der beiden Gewerke kann es sehr schnell zu Widersprüchen kommen. Weiters sind gegebenenfalls auftretende Änderungen unter mühsamer Handarbeit von den unterschiedlichen Planern einzuarbeiten. Zuletzt führt die Betrachtung solcher Bauwerke in zweidimensionalen Ansichten nicht selten dazu, dass Problempunkte oder etwaige Schnittstellen zu bestehenden Objekten in der Planung übersehen werden. Die modellbasierte Planung soll Abhilfe für diese Problematiken schaffen.

2.3.2 BIM für Verkehrsinfrastrukturprojekte

Wie im vorherigen Abschnitt festgehalten, handelt es sich bei der Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten um eine äußerst komplexe Aufgabe. Straßenbauwerke unterliegen einer Reihe von Randbedingungen und werden so konzipiert, dass es im Idealfall zu einem Massenausgleich in der Bewegung von Erdmengen kommt. Dies wird durch die Anpassung der Linienführung an das bestehende Gelände erreicht. Ingenieurbauwerke zeichnen sich wiederum durch ihre teilweise sehr unregelmäßige Geometrie aus. Vor allem Brückenbauwerke sind sehr stark vom Verlauf der Trassenachse abhängig und können dementsprechend komplex ausgebildet sein. Dies betrifft insbesondere Brückenbauwerke in Bereichen, in denen die Trassenachse schräg von anderen Straßen, Bahnstrecken etc. gekreuzt wird oder Brückenbauwerke, die im Bogen verlaufen.

Um die Komplexität der Aufgabe zu mindern, wird im konventionellen Trassenentwurf in drei zweidimensionalen Entwurfsebenen gearbeitet. Mit der Überlagerung dieser 2D-Informationen wird eine dreidimensionale Trasse beschrieben, ohne ein tatsächliches 3D-Modell zu erstellen. Man spricht darum häufig von einer sogenannten 2,5D-Planung. [2]

Mit der geeigneten Softwarelösung ist es möglich auf Basis der drei Entwurfsansichten Lageplan, Längsschnitt und Querprofil ein dreidimensionales Abbild eines Straßenbauwerks zu erzeugen. Diese Vorgehensweise entspricht somit lediglich einer Erweiterung der konventionellen Planung und ersetzt diese keineswegs. Verknüpft man nun alphanumerische Daten mit den entstandenen 3D-Trassenkörpern, ist die Basis für das BIM-Modell. Damit können alle, in Abschnitt 2.2 beschriebenen, Vorteile der BIM-Methodik genutzt werden.

Um die komplexe Geometrie von Brückenbauwerken in ein explizites dreidimensionales Modell überzuführen, kann auf Softwarelösungen zur parametrischen Modellierung zurückgegriffen werden.

Unter parametrischer Modellierung versteht man, dass den Volumenkörper keine feste Geometrie zugewiesen wird, sondern, dass ihre Abmessungen über freie Parameter steuerbar sind. Durch den Einsatz solcher Modellierungstechniken kann die Abhängigkeit von Brückenbauwerken zu der Trassenachse auch in der Modellierung abgebildet werden. Weiters können einzelne Parameter über die Angabe von Formeln aneinandergesetzt und dadurch die Geometrie von Körpern bei Abänderung einzelner Parameter entsprechend der hinterlegten Abhängigkeiten aktualisiert werden. [2]

2.4 Grundlagen für die 3D-Modellierung von Infrastrukturmaßnahmen

In den folgenden Kapiteln sind die Grundlagen für die in Abschnitt 3 beschriebenen 3D-Modellierung eines Infrastrukturprojektes erläutert.

2.4.1 Gauß-Krüger-Projektion

Die Erde kommt in ihrer Form einem Rotationsellipsoid sehr nahe. Um die Lage eines beliebigen Punktes auf der Erdoberfläche zu beschreiben stehen mehrere geodätische Referenzsysteme zur Verfügung. Während diese Referenzsysteme die Dimension eines Ellipsoiden und dessen Lagerung im physikalischen Raum festlegen, beschreiben Projektionssysteme eine Abbildung des Ellipsoiden auf eine Ebene oder eine zu einer Ebene abwickelbaren Fläche (Zylinder). Eines dieser Projektionssysteme ist die Gauß-Krüger-Projektion. Dabei handelt es sich um eine winkeltreue Zylinderprojektion, mit deren Hilfe hinreichend kleine Gebiete auf der Erde mit der Angabe von nur zwei kartesischen Koordinaten winkeltreu verortet werden können. Der Koordinatenursprung liegt im Schnittpunkt des Bezugsmeridians mit dem Äquator. Das Bundesgebiet Österreich ist in drei 3° breite Meridianstreifen unterteilt, wobei sich ein Streifen von 1,5° östlich des Bezugsmeridians bis 1,5° westlich des Bezugsmeridians erstreckt. Die Bezugsmeridiane liegen bei 28° (M28 – West Zone), 31° (M31 – Central Zone) und 34° (M34 – East Zone) östlich von Ferro (Nullmeridian). Die Lage eines Punktes in einem Gauß-Krüger-Koordinatensystem wird durch den Rechtswert (RW, Y), der die verzerrte Entfernung vom Bezugsmeridian angibt (östlicher Abstand), und den Hochwert (HW, X), der die längentreue Entfernung vom Äquator auf dem Bezugsmeridian angibt (nördlicher Abstand), definiert. [11]

2.4.2 Digitales Geländemodell

In der konventionellen Geländevermessung wird durch das Aufmessen einzelner Punkte ein angenähertes Abbild des Geländes erstellt, dessen Genauigkeit vom Abstand der aufgenommenen Punkte abhängt. Aus den gesammelten Informationen werden anschließend zweidimensionale Lagepläne und Schnitte abgeleitet. Durch die zunehmende Digitalisierung und die Steigerung der

Leistungsfähigkeit von Softwarelösungen tritt die Beschreibung des Geländes in einem dreidimensionalen Modell an die Stelle der konventionellen Pläne. Dieses digitale Geländemodell kann für die Planung und Ausführung an beliebigen Stellen geschnitten und Querprofile erstellt werden. Dadurch ist die Berechnung von Mengen in Querprofilen (REB-VB 21.013) entlang einer Trasse unabhängig von festgelegten Stationen möglich. Ein weiterer Grund für den Vormarsch der digitalen Geländemodelle ist die Entwicklung in der Vermessungstechnik. Moderne Messverfahren wie Photogrammetrie und Laserscans ermöglichen die Erfassung der Koordinaten einer Vielzahl von Messpunkten mit geringem Aufwand. [24]

Bei einem digitalen Geländemodell werden die aufgemessenen Punkte untereinander geradlinig verbunden und zu einem Netz vermascht. Die häufigste Form ist die Zusammensetzung in ein Triangulated Irregular Network (TIN). Um die Annäherung des tatsächlichen Geländes in einem DGM möglichst akkurat zu gestalten ist es neben der Eingabe von Punkten notwendig Zwangslinien zu definieren. Beispiele für Zwangslinien sind Begrenzungslinien oder Bruchkanten. Begrenzungslinien definieren welcher Bereich vom DGM erfasst werden soll. Man unterscheidet in Umring (Punkte außerhalb werden nicht berücksichtigt) und Innenring (Punkte innerhalb werden nicht berücksichtigt z.B. Gebäude soll ausgespart werden). Bruchkanten stellen Knicke im Geländeverlauf dar und definieren die Ausrichtung der Dreieckskanten. Sie müssen nicht auf der geradlinigen Verbindung zweier benachbarter Punkte liegen. Es ist also notwendig die Bruchkanten bei der Geländeaufnahme als solche zu kennzeichnen und bei der Modellerstellung als solche zu definieren, da der Computer die Punkte sonst über die Bruchkante hinweg zu Dreiecken vermascht. Abbildung 2.4 zeigt den Vergleich eines DGM ohne (links) und mit Berücksichtigung (rechts) von Bruchkanten. [24]

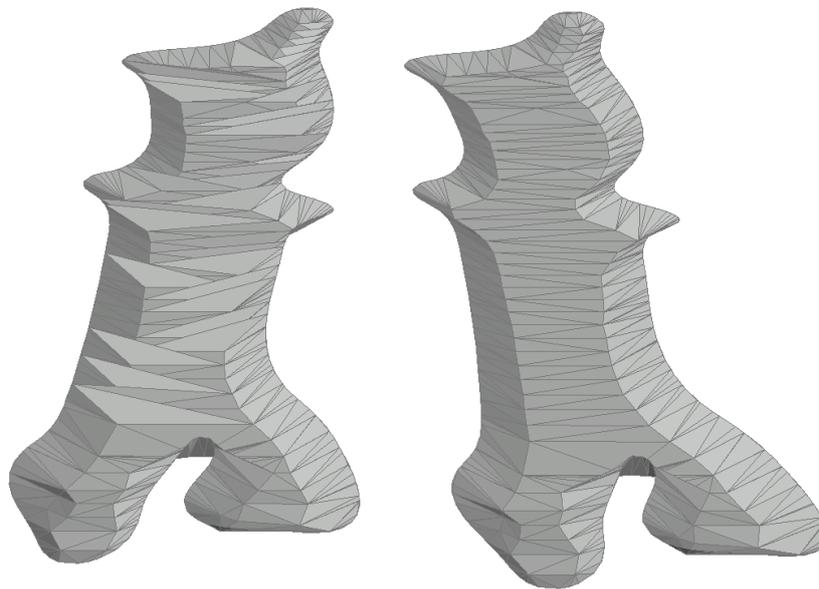


Abbildung 2.4: DGM einer Baugrube ohne und mit Bruchkanten

2.4.3 Bodenschichtenmodell

Neben der Kenntnis über die Oberfläche des anstehenden Geländes spielt die Baugrundsituation vor allem im Infrastrukturbereich, in dem große Erdmengen abgetragen, zwischengelagert und wieder eingebaut werden müssen, eine entscheidende Rolle. Dazu werden noch vor der Durchführung von Baumaßnahmen im Sinne einer Baugrunderkundung Informationen zum Baugrund, wie Schichtstärken und charakteristische Bodenkennwerte, ermittelt. Aufgabe des Geotechnikers ist es aus den gesammelten Informationen ein hinreichend zutreffendes Baugrundmodell zu

entwickeln, welches alle für das Bauvorhaben relevanten Bodenschichten und deren geotechnischen Eigenschaften enthält. Bei den heute gängigen Erkundungsmaßnahmen (Bohrkerne, Schürfe) handelt es sich jedoch immer nur um punktuelle Einblicke in den Baugrund. Aus diesen Aufschlüssen werden durch Vereinfachungen und Abstraktionen 2D-Schichtlagerungskarten erstellt, welche die Baugrundsituation jedoch nie exakt abbilden können. Treten Abweichungen zwischen Modell und realem Baugrund auf, so können diese enorme Auswirkungen auf Planung und Ausführung haben – man spricht vom Baugrundrisiko. Weil dieses zumeist in den Händen des Bauherrn liegt, ist die Schaffung von möglichst zutreffenden Baugrundmodellen für ihn von großem Interesse. [2]

Durch die Darstellung des Baugrundmodells in einem 3D-Bodenschichtenmodell entsteht eine anschauliche räumliche Darstellung der geologischen Randbedingungen, die nicht mehr nur von Fachleuten interpretiert werden kann. Für die integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen (BIM-Planung) ist neben dieser Darstellung die Sammlung und Verwaltung der relevanten geotechnischen Eigenschaften in einer Datenbank von großer Bedeutung. Nur so sind korrekte bautechnische Folgerungen möglich. Neben den Vorteilen, die ein dreidimensionales Bodenschichtenmodell mit sich bringt ergeben sich auch Risiken. Einerseits ist es durch die räumliche Darstellung des Baugrundes in einem Modell plötzlich möglich Aussagen über den Untergrund in Bereichen zu treffen, über die in einer 2D-Abbildung keine Daten vorliegen. Andererseits entsteht der Eindruck, dass das Modell die Realität widerspiegelt, was unter der Berücksichtigung von punktuellen Aufschlüssen noch vor der Ausführungsphase unmöglich ist. Ein Bodenschichtenmodell ist damit immer mit Unsicherheiten behaftet und lediglich als ein Prognosemodell zu verstehen. Um ein Bodenschichtenmodell möglichst gut nutzen zu können darf es nicht starr sein und muss durch Informationen aus der Bauausführung (z.B. Maschinendaten von Baugeräten) ergänzt werden können. [2]

2.5 Digitale Mengenermittlung

Für die digitale Mengenermittlung von Infrastrukturbauwerken stehen eine Vielzahl von Normen zur Verfügung. In diesem Kapitel wird auf jene Normen eingegangen, welche für die Berechnung der Mengen in Abschnitt 3.7 notwendig sind. In Österreich bilden die ÖNORM B 2114 [7] und die ÖNORM A 2063 [9] die Grundlage für die elektronische Bauabrechnung. In Deutschland kommen hingegen die Regelungen für die Elektronische Bauabrechnung (REB) zur Anwendung. Während die ÖNORM B 2114 Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die automationsunterstützte Abrechnung von Bauleistungen (elektronische Bauabrechnung) enthält, regelt die ÖNORM A 2063 den Aufbau von Datenbeständen, die automationsunterstützt in den Phasen Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) zwischen allen Beteiligten, wie Leistungsbeschreibungs-Herausgeber, Elementkatalog-Herausgeber, Planer, Auftraggeber, Bieter oder Auftragnehmer, ausgetauscht werden. Beide Normen enthalten in ihrem Anhang den Formelkatalog anhand dessen die Mengen für die elektronische Bauabrechnung ermittelt werden.

Für die digitale Mengenermittlung von Infrastrukturmaßnahmen kann die Berechnung prinzipiell in zwei Arten unterteilt werden. Die trassengebundene Mengenermittlung kommt für Geometrien, die einer Achse folgen zur Anwendung (=Trassenkörper). Zu diesen zählen der Oberbau, der Unterbau und teilweise Ingenieurbauwerke. Für unregelmäßige Körper, die keiner Trasse folgen ist eine trassenungebundene Berechnung von Rauminhalten besser geeignet.

2.5.1 Trassenungebundene Berechnung von Volumenkörpern

Wegen der unregelmäßigen Geometrie von Erdkörpern wie z.B. Gewinnungsstellen, Kippen, Haldden, Baugruben, Schüttungen und Aushüben ist eine Aufteilung dieser in vertikale Prismen oft besser geeignet als eine Beschreibung des Körpers in stationierten Querprofilen. Für die Ermittlung von Mengen werden deshalb oftmals zwei Oberflächen-DGM mit einander verglichen. Ein Beispiel dafür kann der Vergleich des Urgelände-DGM (Umgebungs-DGM) mit dem aus der Planung stammenden Planums-DGM (aus den Profilen einer Trasse) für die Ermittlung eines Dammkörpers sein. [2, 22]

Das Aufteilen eines Körpers in Prismen und die anschließende Berechnung seines Rauminhaltes wird als „Prismenmethode“ bezeichnet. Für die Anwendung der Prismenmethode gibt es zwei Voraussetzungen. Soll das Volumen eines Erdkörpers über zwei Dreieckshorizonte ermittelt werden, müssen beide Horizonte denselben Bereich in der XY-Ebene überdecken (gleiche Grundfläche). Weiters dürfen sich die beiden Dreiecksnetze für die Berechnung nach REB-VB nicht durchdringen. Der untere Horizont muss vollständig unterhalb des oberen Horizontes verlaufen bzw. auf gleicher Höhe mit diesem liegen, da sonst eine Berechnung von Auf- und Abträgen stattfinden würde. Für die Volumenberechnung von Erdkörpern werden für die beiden Dreiecksnetze in einem ersten Schritt Rauminhalte bezogen auf einen gemeinsamen tiefer gelegenen Bezugshorizont berechnet. Die Höhe des Bezugshorizontes entspricht dabei der niedrigsten vorhandenen Z-Koordinate eines Punktes einer der beiden DGM (siehe Abbildung 2.5). [22]

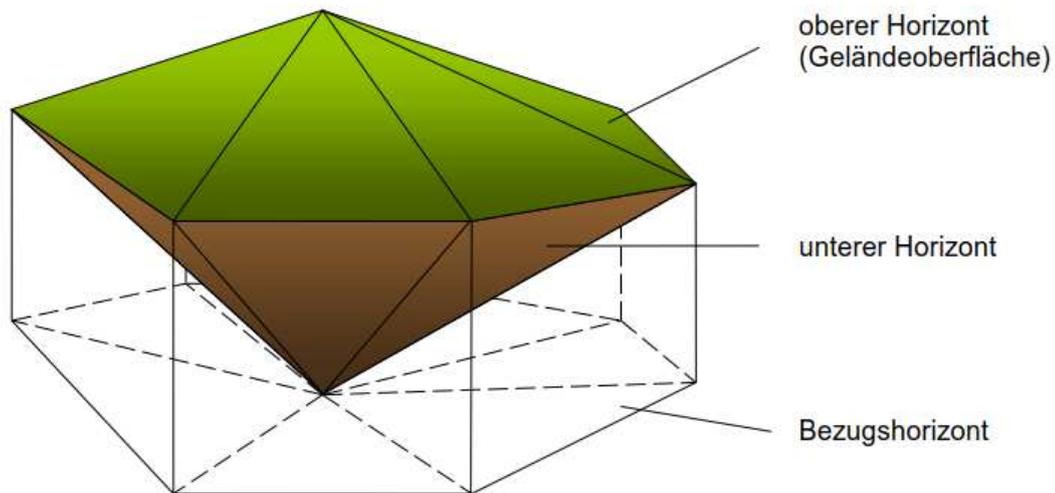


Abbildung 2.5: Horizonte eines Erdkörpers (Quelle: REB-VB 22.013 [22], S.4)

Die Rauminhalte werden durch Konstruktion von Prismen (siehe Abbildung 2.6), die bis zum Bezugshorizont reichen und anschließende Addition der Einzelvolumen dieser ermittelt. Während die Grundfläche im Inneren der DGM einzelne Dreiecke sind, ergeben sich im Randbereich Grundflächen, die mehr als drei Ecken aufweisen. Die Differenz der beiden erhaltenen Gesamtrauminhalte – bezogen auf einen gemeinsamen Horizont – ergibt letztlich das Volumen zwischen den beiden Dreiecksnetzen. [22, 36]

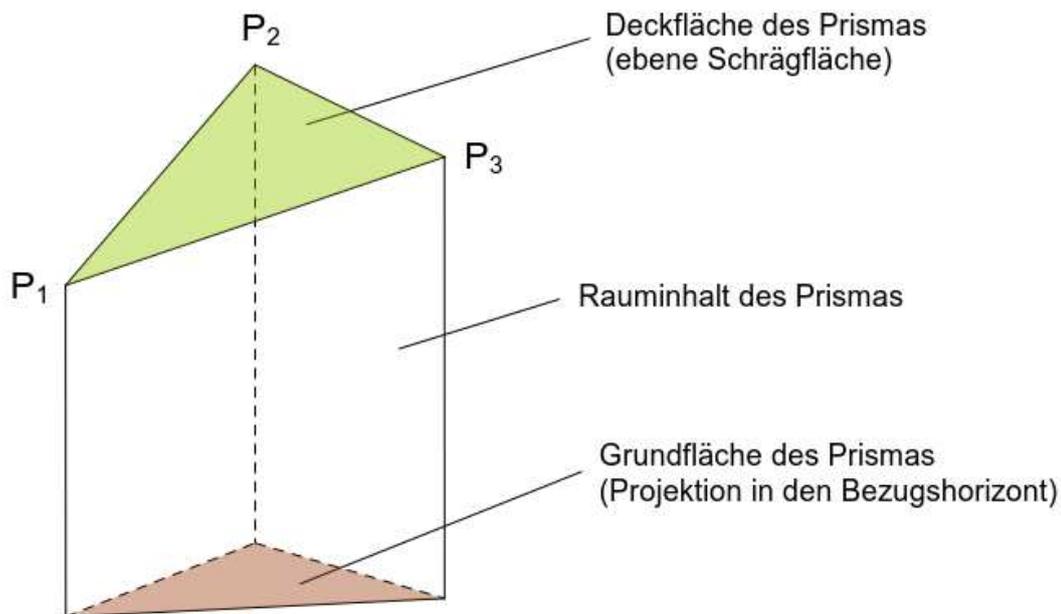


Abbildung 2.6: Prisma unter dem Dreieck eines DGM (Quelle: REB-VB 22.013 [22], S5)

Die Grundfläche G_D und das Volumen V_D eines Dreiecksprismas werden nach den folgenden Gleichungen bestimmt, wobei H die Höhe des Bezugshorizontes und x_i , y_i und z_i die Koordinaten eines Punktes i definieren.

$$G_D = \frac{1}{2} \cdot |x_1 \cdot (y_2 - y_3) + x_2 \cdot (y_3 - y_1) + x_3 \cdot (y_1 - y_2)| \quad (2-1)$$

$$V_D = \frac{1}{3} \cdot (z_1 + z_2 + z_3 - 3 \cdot H) \cdot G_D \quad (2-2)$$

Die Berechnung von Mengen zwischen zwei Oberflächen lt. ÖNORM B 2114 bzw. ÖNORM A 2063 erfolgt analog zur Berechnung nach REB-VB 22.013 über das Aufsummieren der Prismenvolumina.

Neben der Ermittlung von Rauminhalten nach der Prismenmethode können trassenungebundene Körper nach der GAEB-VB 22.114 [26] „Ermittlung von Rauminhalten und Flächen aus Horizonten“ bestimmt werden. Basis für die Berechnung stellen wieder zwei Dreiecksnetze dar, die sich bei der Berechnung nach GAEB-VB – anders als bei der Prismenmethode – beliebig oft durchdringen und auch eine unterschiedliche Grundfläche aufweisen dürfen. Hier ergeben sich nun sowohl Auftrags- als auch Abtragskörper, deren Grenze durch ein Verschneidungspolygon PV gebildet wird. [36]

Das Abrechnungsgebiet für die beiden Dreiecksnetze, zwischen denen die Mengen berechnet werden sollen ergibt sich aus den beiden Randlinien RL1 und RL2 und eventuell einem Abrechnungspolygon PP nach Abbildung 2.7. Innerhalb dieses Abrechnungsgebiets werden Dreiecksprismen gebildet, die senkrecht zwischen den Dreiecksnetzen stehen. Weil die Punkte der beiden Dreiecksnetze in der Regel nicht senkrecht übereinander stehen werden die Dreiecke des ersten Netzes auf das zweite Netz projiziert (Interpolation). Es ergibt sich eine Vielzahl von Schnittflächen, die nun mehr Vielecke mit mehr als drei Ecken sind. Analog zur Prismenmethode wird zu

jeder gefundenen Schnittfläche ein Prisma für das obere und das untere Dreiecksnetz – bezogen auf einen gemeinsamen Horizont – gebildet. [24, 36]

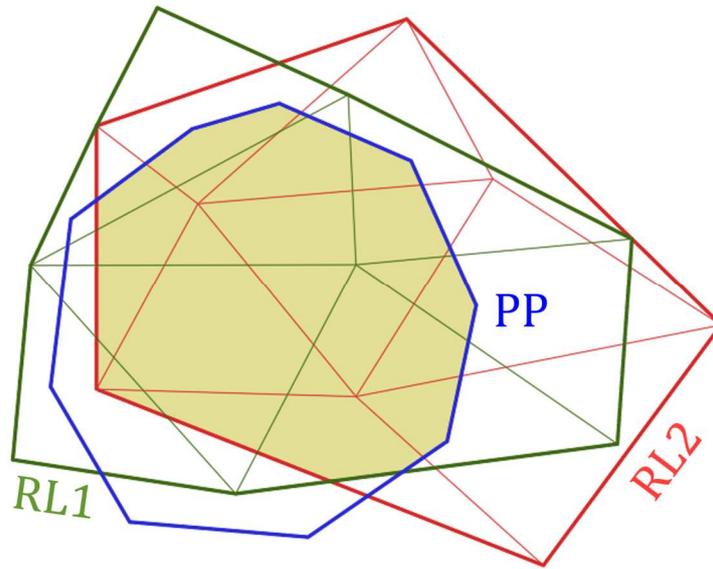


Abbildung 2.7: Abrechnungsgebiet (modifiziert nach RIB Software SE [36], S.495)

Abbildung 2.8 zeigt ein Beispiel für die Mengenermittlung nach GAEB-VB. Wegen der Durchdringung der beiden Dreiecksnetze N1 und N2 ergibt sich im Überdeckungsbereich U ein Auftragsbereich A1 und ein Abtragsbereich A2.

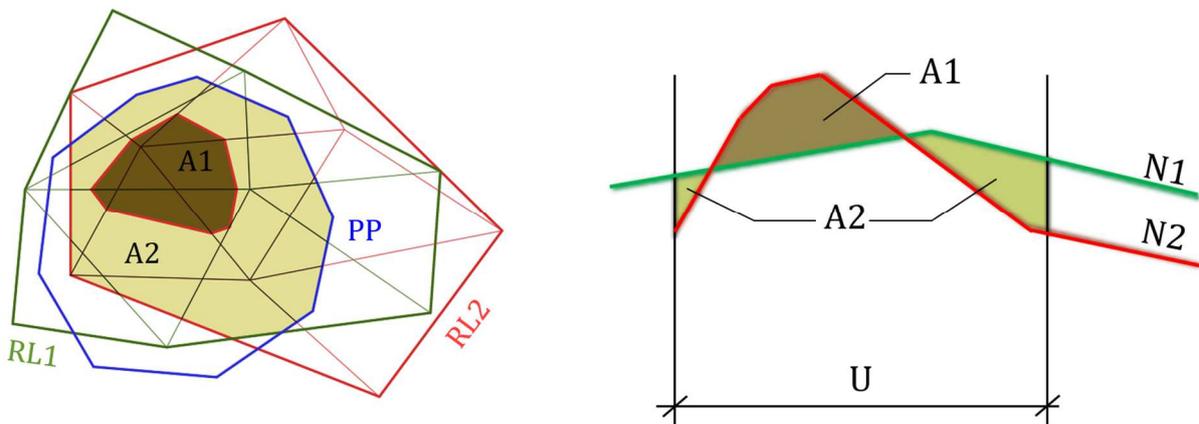


Abbildung 2.8: Berechnungsbeispiel (modifiziert nach RIB Software SE [36], S. 496)

2.5.2 Trassengebundene Berechnung von Volumenkörpern

Die Ermittlung der Rauminhalte regelmäßiger Körper, die dem Verlauf einer Achse folgen (=Trassenkörper), sind sowohl in der ÖNORM A 2063 [9] als auch in der REB-VB 21.013 [19] festgehalten. Basis der Mengenermittlung sind in beiden Methoden die – in den Querprofilen definierten – Horizonte bzw. Begrenzungslinien. Zwischen diesen Horizonten werden die Querschnittsflächen definiert. Die Berechnung der Flächen A_i erfolgt lt. ÖNORM nach Gauß-Elling und ist in Gleichung (2-3) dargestellt. Abbildung 2.9 zeigt dabei die Orientierung der Koordinatensystems.

$$A_i = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^n (x_{j+1} - x_j) \cdot (y_j + y_{j+1}) \quad (2-3)$$

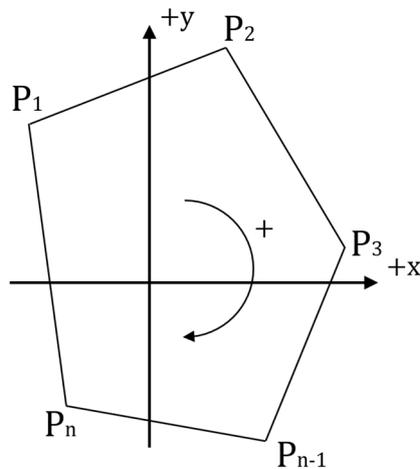


Abbildung 2.9: Unregelmäßiges n-Eck (modifiziert nach ÖNORM A 2063 [9], S.18)

Sind die Querschnittsflächen definiert, werden die Mengen V_i über die Achsstationen berechnet. Bei der Berechnung nach ÖNORM wird dazu die Querschnittsfläche eines Profils mit dem halben Achsabstand a_i zum vorangehenden bzw. nachfolgenden Profil multipliziert. Weiters ist zwischen geraden und gekrümmten Achsen zu unterscheiden. Bei geraden Achsen nach Abbildung 2.10 kommt Gleichung (2-4) zur Anwendung.

$$V_i = \frac{1}{2} \cdot A_i \cdot (a_{i-1} + a_i) \quad (2-4)$$

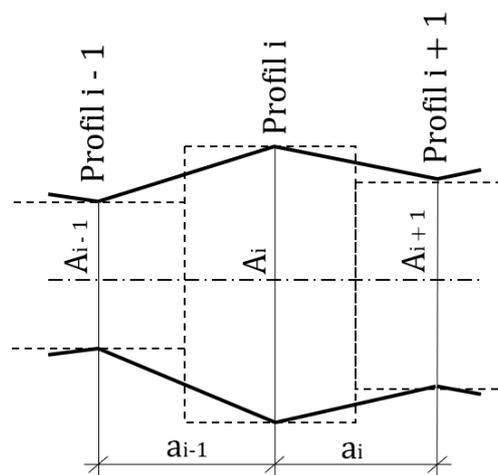


Abbildung 2.10: Gerade Achse (modifiziert nach ÖNORM A 2063 [9], S.21)

Bei gekrümmten Achsen nach Abbildung 2.11 geht zusätzlich der Schwerpunktabstand der Fläche in die Berechnung ein. Dieser wird wiederum unter Berücksichtigung der Brechungswinkel der Achse im Grundriss bestimmt. Dabei gibt β den Winkel zum nächsten Profil (im Uhrzeigersinn positiv) und γ den Winkel zum vorangehenden Profil (entgegen dem Uhrzeigersinn positiv) an. Der Abstand der Schnittpunkte der Koordinatenachsen der Profile wird wie bei gerader Achse mit a bezeichnet.

$$V_i = \frac{1}{2} \cdot A_i \cdot (b_{i-1} + b_i) \quad (2-5)$$

$$x_{s,i} = \frac{1}{6 \cdot A_i} \cdot \sum_{j=1}^n (x_j^2 + x_j \cdot x_{j+1} + x_{j+1}^2) \cdot (y_j - y_{j+1}) \quad (2-6)$$

$$b_{i-1} = \frac{[a_{i-1} \cdot \cos \beta_{i-1} - x_{s,i} \cdot \sin(\beta_{i-1} + \gamma_{i-1})]}{\rho \cdot \sin(\beta_{i-1} + \gamma_{i-1})} \cdot (\beta_{i-1} + \gamma_{i-1}) \quad (2-7)$$

$$b_i = \frac{[a_i \cdot \cos \beta_i - x_{s,i} \cdot \sin(\beta_i + \gamma_i)]}{\rho \cdot \sin(\beta_i + \gamma_i)} \cdot (\beta_i + \gamma_i) \quad (2-8)$$

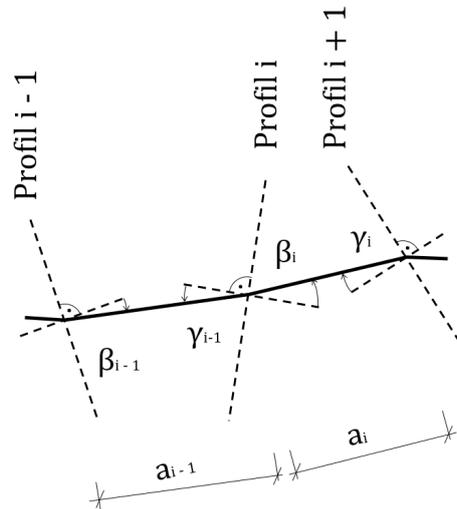


Abbildung 2.11: Gekrümmte Achse (modifiziert nach ÖNORM A 2063 [9], S.22)

Die Bestimmung der Querschnittsfläche F nach REB-VB 21.013 [19] erfolgt analog zu (2-3) und unterscheidet sich lediglich in der Bezeichnung der Koordinatenachse z_i (in ÖNORM x_i).

$$F_i = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^{n-1} (y_j + y_{j+1}) \cdot (z_j - z_{j+1}) \quad (2-9)$$

Im Gegensatz zu der Berechnung nach ÖNORM A 2063 wird die Menge ΔM zwischen zwei Querprofilen nach REB-VB 21.013 aus dem Produkt des arithmetischen Mittels zweier benachbarter Querprofilflächen F_{Mittel} mit dem Stationsabstand ΔL gebildet. Es wird also nicht der Abstand gemittelt, sondern die Querschnittsflächen zweier benachbarter Stationen.

$$\Delta M = F_{Mittel} \cdot \Delta L \quad (2-10)$$

$$F_{Mittel} = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \quad (2-11)$$

$$\Delta L = |x_{i+1} - x_i| \quad (2-12)$$

Bei gekrümmter Achse wird die Menge noch mit einem Korrekturfaktor k_{Mittel} multipliziert. Dieser ist abhängig vom Schwerpunktabstand und wird analog zur Berechnung nach ÖNORM A 2063 ermittelt.

$$\Delta MV = \Delta M \cdot k_{Mittel} \quad (2-13)$$

$$y_s = \frac{1}{6 \cdot F} \cdot \sum_{j=1}^{n-1} (y_j^2 + y_j \cdot y_{j+1} + y_{j+1}^2) \cdot (z_j - z_{j+1}) \quad (2-14)$$

$$k_{Mittel} = \frac{k_i + k_{i+1}}{2} \quad (2-15)$$

2.5.3 Trassengebundene Berechnung von Oberflächen

Neben der Berechnung von Volumina ist es im Infrastrukturbereich oft erforderlich Oberflächen und Teilflächen polygonal begrenzter und lang gestreckter Bauwerke zu bestimmen. Besonders im Straßenbau werden solche Oberflächenberechnungen zur Bauleistungsabrechnung benötigt. Man ermittelt so z. B. Ansaat, Verdichtungsflächen, Planum und Dammaufstandsfläche. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Bauabrechnung für andere lang gestreckte Bauwerke wie z. B. Erddämme, Stützmauern oder Kanäle. [36]

Die Verfahren zu Berechnungen von trassengebundenen Oberflächen sind in mehreren Normen festgehalten. Die Berechnung kann nach REB-VB entweder aus Begrenzungslinien (REB-VB 21.022) oder auf Basis von Querprofilen (REB-VB 21.033) erfolgen. In diesem Kapitel wird nur auf das Verfahren nach REB-VB 21.033 eingegangen, da dieses in der Modellierung Berücksichtigung gefunden hat. Bei diesem Verfahren werden in einem ersten Schritt aus den Koordinaten y_i und z_i der einzelnen Punkte i eines Querprofils die Einzelstrecken S_i und die Streckensumme S des gesuchten Horizontes berechnet. Dabei können bestimmte Einzelstrecken auch ausgelassen werden (z. B. Fahrbahnbereiche zwischen Böschungen).

$$S_i = \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \quad (2-16)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} S_i \quad (2-17)$$

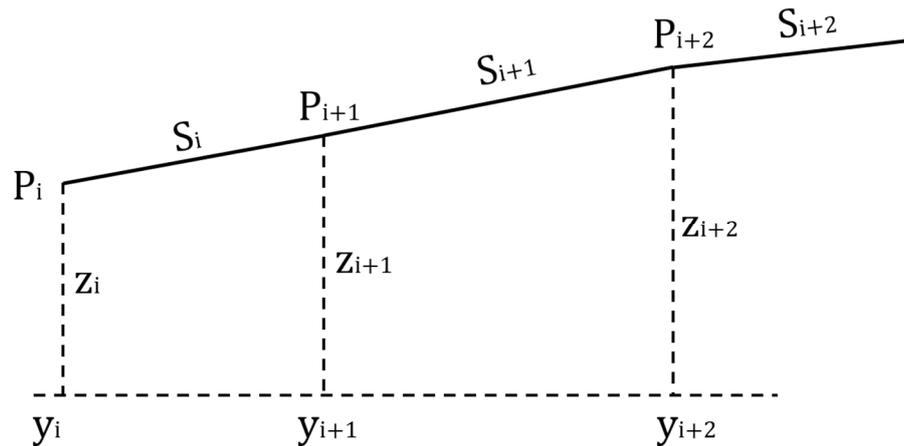


Abbildung 2.12: Streckenberechnung (modifiziert nach REB-VB 21.033 [20], S8)

Aus dem Mittel zweier Profilstrecken S_{Mittel} und deren Abstand ΔL zueinander wird die Oberfläche ΔOF zwischen zwei Querprofilen berechnet.

$$S_{Mittel} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \quad (2-18)$$

$$\Delta L = |x_{i+1} - x_i| \quad (2-19)$$

$$\Delta OF = S_{Mittel} \cdot \Delta L \quad (2-20)$$

Bei gekrümmter Achse wird die Fläche durch Berücksichtigung des Schwerpunktweges verbessert.

$$y_s = \frac{1}{2 \cdot S} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (y_i + y_{i+1}) \cdot S_i \quad (2-21)$$

$$\Delta OFV = \Delta OF \cdot k_{Mittel} \quad (2-22)$$

$$k_{Mittel} = \frac{k_i + k_{i+1}}{2} \quad (2-23)$$

Bei Angabe einer mittleren Schichtdicke D können positionsweise entsprechende Mengen auf Basis der Ergebnisse der Flächenberechnung ermittelt werden.

$$M = OF \cdot D \quad (2-24)$$

2.6 Digitaler Datenaustausch

Für die Erstellung eines kooperativen Bauwerksentwurfs ist eine große Anzahl von Planern aus unterschiedlichen Fachdisziplinen erforderlich. Dazu ist es notwendig die verschiedenen Planungsaufgaben auf mehrere Unternehmen aufzuteilen, da die Kompetenzen meist nicht von einem Planer allein abgedeckt werden können. Dadurch ergibt sich einerseits das Problem der Heterogenität (=Ungleichartigkeit) der eingesetzten Software und andererseits eine starke Abhängigkeit untereinander für das Treffen von Planungsentscheidungen. Hinzu kommt das oftmalige Auftreten von Änderungen auch in weit fortgeschrittenen Phasen der Planung. Aus der Gesamtheit dieser Randbedingungen folgt der Zwang eines intensiven Informationsaustausches zwischen allen beteiligten Planern. Im herkömmlichen Planungsprozess basiert dieser Austausch von Informationen auf der Übergabe von gedruckten Plänen auf denen etwaige Änderungen markiert sind. Das Verschicken und Einarbeiten von Revisionen führt zu einem enormen Aufwand und damit zu einem Produktivitätsverlust in der Planung. Alternativ dazu erfolgt der Austausch häufig in Form von digitalen Daten. Diese beschränken sich in der Regel jedoch auf den Austausch von reinen Geometrieinformationen der Bauteile. Weiters verhindert die Heterogenität der eingesetzten Software bislang einen durchgehend digitalen Datenfluss. Abhilfe für diese Schnittstellenproblematik schafft der von der Internationalen Allianz für Interoperabilität (IAI - heute buildingSmart) geschaffene Industriestandard IFC. [2]

2.6.1 Industry Foundation Classes (IFC)

Die Industry Foundation Classes, sind ein offener internationaler Standard nach ISO 16739-1:2018 [31] für die digitale Beschreibung der gebauten Umwelt. Sie werden für den Austausch von BIM-Daten im Hoch- und Infrastrukturbau verwendet und enthalten Definitionen der Daten, die für Bauwerke während ihres gesamten Lebenszyklus erforderlich sind. Diese Daten beinhalten die Identität und Semantik, die Attribute oder Merkmale und die Beziehungen von Objekten, Prozessen, Konzepten und Menschen. Im IFC-Standard sind sogenannte Elementtypen festgelegt, welche die Bedeutung und die Zugehörigkeit von Modellelementen sowie deren Attribute definieren. Es handelt sich also um ein vordefiniertes Datenschema. Eine freie Modellierung von 3D-Volumenkörpern ohne fachlichen Bezug ist nicht vorgesehen. [16]

2.6.2 BIM Collaboration Format (BCF)

Die Entwicklung des BIM Collaboration Format begann 2009 und ist nun ein internationaler Open BIM-Standard, wie IFC. Das BCF ermöglicht den Beteiligten eines Projektes die Kommunikation von modellbasierten Sachverhalten durch den effizienten Einsatz von IFC-Modellen. Dazu können die BCF-Dateien entweder in einem dateibasierten Workflow oder über einen eigenen BCF-Server ausgetauscht werden. Ersteres ist die geradlinigere und von den meisten Anwendern gewohnte Arbeitsweise. Dabei wird ein BCF-File (.bcfzip) von einem Anwender an einen anderen Anwender übergeben, von diesem bearbeitet und anschließend wieder zurückgegeben. Diese Vorgehensweise funktioniert nur dann, wenn jeder die Integrität der BCF-Datei beibehält und wenn nicht mehrere Kopien dieser in Umlauf gebracht werden, da sonst Widersprüche auftreten können. Die zweite Möglichkeit ist der Datenaustausch über einen Webdienst oder eine Programmierschnittstelle (API) für BCF. Dabei muss ein BCF-Server eingerichtet werden, der die Speicherung, Bearbeitung und Synchronisierung aller BCF-Dateien an einem zentralen Ort ermöglicht. Dies hat den Vorteil der Eindeutigkeit der Daten. Dieser BCF-Server kann auch bereits in der Projektplattform enthalten sein. [13]

Das BCF basiert auf der Extensible Markup Language (XML) und wird zur Übertragung von Informationen zu einem Sachverhalt, der besprochen werden soll, zwischen zwei Anwendungen verwendet. Diese Informationen können beispielsweise den Status, den Anwender, den Erstellungszeitpunkt, eine Bauteil-ID, oder Bemerkungen zum Problem enthalten und sind direkt am Modell über IFC-Koordinaten verortet. [13]

2.6.3 Industry Foundation Classes für Infrastrukturprojekte

Während die Verbreitung von BIM im Hochbau bereits weit vorangeschritten ist, sitzt die Nutzung der Methode im Infrastrukturbereich noch in ihren Anfangsschuhen. Ähnliches gilt für das standardisierte Datenformat IFC, welches bis zur Version 4 ausschließlich für die Übertragung von Hochbaumodellen geeignet war. Infolge der steigenden Bedeutung von BIM im Infrastrukturbereich sind für die Version 5 umfangreiche Erweiterungen geplant. Der Grundstein für die Entwicklung von „IFC-Infrastructure“ wurde bereits mit der Einführung des IFC-Alignment Standards gelegt. Seine Entwicklung begann bereits 2014 und das Ziel war die Erarbeitung eines Datenmodells zur Beschreibung einer Trasse. Dieses Datenmodell stellt unter anderem die Grundlage für die Datenmodelle IFC-Road, IFC-Bridge und IFC-Tunnel dar. [32]

Mittlerweile liegt der IFC-Standard in der Version 4.1.0.0 (IFC-Alignment) vor. Der Zweck der Einführung von IFC4.1 war das zugrunde legen einer Basis für die, sich zurzeit in Entwicklung befindlichen, Projekte der Infrastruktur-Domänenenerweiterung. Die Erweiterungen gegenüber dem IFC4 Standard umfassen vor allem die vollständige dreidimensionale Beschreibung von Achsen als Kombination von horizontalen und vertikalen Trassierungselementen sowie das Einführen eines linearen Bezugssystems nach ISO 19148:2012 [30]. Mit dieser Version ist es also bereits möglich Achsen für Infrastrukturbauten zu übergeben. Aktuell liegt die Version 4.2.0.0 (IFC-Bridge) als Entwurf vor, und wartet auf die Genehmigung und Standardisierung durch buildingSMART International. Dabei handelt es sich um eine Erweiterung des IFC4.1 Standards um die Elemente zur Beschreibung von Brückenbauwerken. Weitere Forschungsprojekte beschäftigen sich derzeit mit Standards für Tunnel (IFC-Tunnel), Straße (IFC-Road), Schiene (IFC-Rail) sowie Häfen und Wasserstraßen (IFC-Ports and Waterways). [14, 15]

2.6.4 Extensible Markup Language (XML)

XML steht für Extensible Markup Language und kann sinngemäß mit Erweiterbare Auszeichnungs- oder Markierungssprache übersetzt werden. Grupe [41] definiert etwa: „XML ist eine erweiterbare, flexible, strukturierte Markup-Sprache, die in unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz kommt...“.

Bei XML-Dateien handelt es sich um simple Textdokumente, die mit einfachen Texteditoren oder eigens dafür geschaffenen XML-Editoren erstellt oder bearbeitet werden können. Das Format enthält keine Elemente oder Schlüsselwörter für die Steuerung von Programmabläufen. Mit anderen Worten: das XML-Format ist keine Programmiersprache. Vielmehr handelt es sich dabei um eine beliebig erweiterbare (=generische) Sprache. Erweiterbar heißt, dass theoretisch unendlich viele fachspezifische Begriffe definiert werden können, um Elemente, aus denen sich strukturierte Modelle zusammensetzen, für den Computer verarbeitbar zu machen. Weiters handelt es sich um eine Markup- oder Auszeichnungssprache, die eine bestimmte wohlgeformte Struktur aufweisen muss. Die große Stärke ist dabei, dass die Strukturen in beliebiger Tiefe verschachtelt werden können, so dass auch hoch komplexe Hierarchien jeder Art repräsentiert werden können. All diese Eigenschaften qualifizieren das XML-Format gleichzeitig zu einem universalen Datenaustauschformat. [29, 41]

2.6.5 Land XML

Das LandXML-Format ist ein internationaler offener Standard, der auf dem XML-Format basiert und aktuell in der Version 1.2 vorliegt. Sein Schwerpunkt liegt auf dem Datenaustausch von georeferenzierten Objekten des Tiefbaus. So können nach Borrmann [2] folgende Informationen in einer LandXML-Instanzdatei gespeichert werden:

- Geländemodelle in Form von Dreiecksnetzen (DGM)
- Lageplan (2D-Koordinaten)
- Längsprofil (2D-Koordinaten)
- Querprofile

Im Datenaustausch zwischen den Projektbeteiligten spielt dieses Datenformat eine eher untergeordnete Rolle. Ein beliebtes Anwendungsgebiet sind hingegen der Austausch von Geländemodellen und Achsen.

2.6.6 Construction Process Integration XML (CPIXML)

Wie das LandXML-Format beruht das CPIXML-Format auf dem XML-Standard. Im Gegensatz zu ersterem handelt es sich dabei um ein halb-offenes Format², das von der RIB Software AG im Zuge der Entwicklung und Markteinführung der Software RIB iTWO definiert wurde. Die Abkürzung CPI steht dabei für „Construction Process Integration“ – was übersetzt so viel wie Bauprozess Integration bedeutet. Das Format wird für die Übergabe von 3D-Volumenkörpern und deren Eigenschaften verwendet und kann somit als Pendant zum IFC-Format im Hochbau als „BIM-Austauschformat des Tiefbaus“ angesehen werden. Analog zum IFC-Standard wurden geometrische Objekte mit dem Schwerpunkt auf Straßen- und Tiefbau definiert. Die Modelle bestehen aus sogenannten Trassenkörpern – 3D-Volumenkörpern, die neben ihrer Geometrie und ihrem Bezug zu einer Achse Informationen über ihre Fachbedeutung, ihr Volumen und über berechnete Mengen beinhalten. Weiters wurden im CPIXML-Format Definitionen für 3D-Flächen, 3D-Linien und 3D-Punkte getroffen, wodurch mit diesem Format beliebige Körper übergeben werden können. Im Gegensatz dazu können im IFC-Format nur regelmäßige bzw. vordefinierte Geometrien ohne Achsbezug übergeben werden (z.B. eine Wand als Wandobjekt). [10]

2.6.7 Digitale Trassendaten

Während im Hochbau schon viele Projekte mit BIM abgewickelt werden haben die meisten Projekte im Tiefbau noch den Status eines Pilotprojektes. Selbst wenn ein Infrastrukturbauwerk dreidimensional geplant wird, so wird daraus in den seltensten Fällen ein BIM-Modell erzeugt. In der Regel werden die generierten 3D-Trassendaten wieder in zweidimensionale Pläne oder in geschriebene Koordinatenlisten übergeführt und an die ausführenden Unternehmen übergeben. Diese Herangehensweise zeugt von einem Informationsverlust zwischen den Projektphasen und widerspricht damit dem Grundgedanken von BIM, eben diesen Verlust zu vermeiden. Um die vom Planer generierten Daten ohne Verlust (bzw. ohne erneute, manuelle, aufwändige und vor allem fehleranfällige Eingabe) nutzen zu können, erscheint es als sinnvoll diese in eigens dafür geschaffenen Formaten auszutauschen. Während die in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich beschriebenen Formate für den Austausch von 3D Modellen konzipiert sind, ist es auch möglich

² Die CPIXML-Schnittstelle ist eine proprietäre Schnittstelle, die von RIB jedoch zur freien Verfügung gestellt wird.

einzelne Teildaten einer Trasse zu übergeben (= elektronische Trassendaten). Ein Austauschformat, das diese Anforderungen erfüllt, sind die Datenarten nach REB (Regelungen für die elektronische Bauabrechnung). Es handelt sich dabei um herstellernerneutrale ASCII-Daten, die Informationen zu den Trassierungsparametern von Infrastrukturbauten beinhalten („geschriebene Geometrie“) und noch aus der Lochkartenzeit stammen. Sie erleichtern in Kombination mit Zeichnungsdateien (.dwg) das Rekonstruieren einer Trasse in einer BIM-Autorensoftware und vermindern den Datenverlust bei der Übergabe zwischen den Projektbeteiligten. Im Folgenden werden die, in der Baupraxis gängigen Datenarten beschrieben.

Datenart 40

Die Datenart 40 wird zur Übergabe von Trassierungselementen der Lage (=Kurvenband) einer Achse verwendet. Es handelt sich um eine Textdatei mit vordefinierter Struktur, die Informationen zu Station, Länge, Lage (RW, HW) und Richtung der Trassierungselemente enthält. Insbesondere können Geraden, Übergangsbögen und Kreisbögen übergeben werden. Das Datenformat stammt aus der Zeit der Lochkarten und ist nicht in den REB-VB enthalten. Es wird von vielen Softwareherstellern unterschiedlich definiert. In Abbildung 2.13 ist der Aufbau, der von RIBi TWO Civil unterstützt wird und in Abbildung 2.14 ein Beispiel für das besagte Datenformat, dargestellt.

DA 40	Achs-ID	Station Achs HP, 3 NK	Abstand zum vorherigen Achs HP, 3 NK	Radius, 3 NK	Klothoiden- parameter, 3 NK	Anfangswinkel in gon, 7 NK	Rechtswert, 3 NK	Hochwert, 3 NK
1-3	4-5	6-15	16-23	24-35	36-44	45-56	57-68	69-80

Abbildung 2.13: Aufbau DA 40

04001	-26605	15219	-800000	0000	3687071044	9494679	344734158
04001	-4431	22175	00000	0000	3510610418	9481654	344752017
04001	19443	23873	00000	31828	3510610412	9465057	344769177
04001	39443	20000	506500	0000	3636300397	9452150	344784409
04001	230883	191440	506500	-43626	2042509455	9545294	344808417

Abbildung 2.14: Beispiel für das Datenformat 40

Kurvenband – Datenart 50

Das Kurvenband beschreibt die Elemente der Lage einer Achse. Mit der Datenart 50 ist es möglich Geraden, Kreisbögen und Klothoiden inklusive ihrer Koordinaten zu übergeben. Es handelt sich um ein spaltenorientiertes Format dessen Aufbau in den Allgemeinen Bedingungen der REB-VB lt. Abbildung 2.15 definiert ist. [21]

DA 50	Station Bogen- anfang	Station Bogen ende	Radius am Bogenanfang	Parameter	Rechtswert YH	Hochwert XH	Tangenten- richtung TH
1 2 3	9 10 18	19 21 22 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80

Abbildung 2.15: Aufbau Kurvenband – DA 50 (Quelle: REB-VB Allgemein [21], S.9)

Als nachteilig erweist sich bei der Übergabe eines Kurvenbandes im Datenformat 50, dass keine S-förmigen Übergangsbögen, die vor allem im Bahnbau zur Anwendung kommen, übergeben werden können. Weiters geht der Name der Achse verloren, dieser muss also händisch eingegeben werden.

Gradiente – Datenart 21

Die Datenart 21 wird zur Übergabe von Gradientendaten verwendet und stammt ebenfalls aus der Zeit der Lochkarten. Sie ist nicht in den REB-VB enthalten und wird von vielen Softwareherstellern unterschiedlich definiert. In Abbildung 2.16 ist der Aufbau, der von RIB iTWO Civil unterstützt wird und in Abbildung 2.17 ein Beispiel für das besagte Datenformat, dargestellt.

DA 21	Gradiente ID	Station, 3 NK	Höhe, 3 NK	Ausrundungs- radius
1-3	4-5	6-15	15-23	23-35

Abbildung 2.16: Aufbau Gradiente – DA 21

```
02101 -13.405 158.105 0.00000
02101 30.228 157.581 1200.00000
02101 66.519 156.856 650.00000
02101 187.453 163.507 1200.00000
02101 241.191 164.460 1000.00000
02101 266.459 164.814 0.00000
```

Abbildung 2.17: Beispiel für das Datenformat 21

Querprofile – Datenart 66

Mit dem Datenformat 66 können die Koordinaten der Punkte von Querprofilhorizonten übergeben werden. Jeder Horizont besitzt eine Kennzahl. Für jede dieser Querprofillinien muss eine fortlaufende Zeilennummer eingetragen werden. Es handelt sich um ein spaltenorientiertes Format dessen Aufbau nach Abbildung 2.18 in der REB-VB 21.013 [19] definiert ist. [19]

DA 66	Frei	Horizont Nr	Station, 3 NK	Laufende Zeilenr.	Frei	Punkt 1 Achs- abstand	Höhe	Frei	Punkt 2 Achs- abstand	Höhe	Frei	Punkt 3 Achs- abstand	Höhe	Frei	Punkt 4 Achs- abstand	Höhe
1-2	3-7	8-9	10-18	19-20	21	22-28	29-35	36	37-43	44-50	51	52-58	59-65	66	67-73	74-80

Abbildung 2.18: Aufbau DA 66

Wie aus Abbildung 2.19 ersichtlich, ist die Genauigkeit der Abstände und Höhen auf 3 Nachkommastellen begrenzt. Dies ist bei der Datenart 66 als nachteilig zu bewerten. Weiters kann ein Horizont nicht rückspringen, d.h. die Punkte müssen von links nach rechts mit aufsteigender y-Koordinate eingetragen werden. Zuletzt können mit der Datenart 66 keine Punktbezeichnung übergeben werden.

```
66 01 00000 1 -8471 157990 -8471 158020 -5561 158034 -5061 158026
66 01 00000 2 0 157944 500 157936 500 157906
66 01 25000 1 -5500 157752 -5500 157782 -5000 157769 0 157644
66 01 25000 2 500 157632 500 157602
66 01 50000 1 -5534 157386 -5534 157416 -5000 157398 0 157233
66 01 50000 2 500 157217 500 157187
66 01 75000 1 -5501 157679 -5501 157709 -5500 157709 -5000 157691
66 01 75000 2 0 157516 500 157499 500 157469
```

Abbildung 2.19: Beispiel für das Datenformat 66



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

3 Digitale Modellierung eines Infrastrukturbauvorhabens

In diesem Abschnitt wird auf die digitale Modellierung eines Infrastrukturbauvorhabens am Beispiel eines Teilbereiches des Projektes „Anschlussstelle Hirschstetten“ eingegangen.

3.1 Allgemein

Für ein laufendes Dissertationsvorhaben zum Thema „Struktur und Qualität von Datenketten im Betreiben, Planen und Bauen“ im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes mit der Firma ASFINAG soll für die Anschlussstelle Hirschstetten für einen Teilbereich des Projektes eine digitale Modellierung erstellt werden. Als Basis für diese Modellierung soll die bereits vorhandene konventionelle Ausschreibungsplanung auf Detailplanungsniveau herangezogen werden. Die Gewerke Erdbau, Straßenbau, konstruktiver Ingenieurbau und Ausrüstung sind dabei insbesondere zu betrachten. Anhand der Modellierung sind Modellierleitfäden, BIM-Abwicklungsplan (BAP), Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), Datenstruktur sowie das IFC-Format auf Anwendbarkeit im Tiefbau zu untersuchen. Im Vordergrund der Arbeit soll der Open BIM Gedanke stehen, weshalb besonders auf IFC als Austauschformat Rücksicht zu nehmen ist. Die zu erstellenden Daten sind in nativem Format und als IFC integrale Bestandteile der gegenständlichen Diplomarbeit.

3.1.1 Projektbeschreibung

Die Anschlussstelle Hirschstetten ist der Übergang zwischen der A 23 Autobahn Südosttangente Wien – welche beim Altmanssdorfer AS im Süden von Wien beginnt und in nordöstliche Richtung bis zur Anschlussstelle Hirschstetten verläuft – und der S2 Wiener Nordrandschnellstraße (siehe Abbildung 3.1). Aufgrund der Errichtung der Stadtstraße Hirschstetten seitens der Stadt Wien soll die bestehende Anschlussstelle Hirschstetten dementsprechend angepasst werden. Diese Adaptierung soll durch die Entflechtung des Verkehrs zur Verbesserung der Sicherheit, Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs beitragen. [6]



Abbildung 3.1: Projektgebiet (modifiziert nach Stadt Wien [38])

3.1.2 Anlagenverhältnisse (Bestand)

Die A 23 bzw. die S 2 weisen im Bereich der ASt Hirschstetten einen 4-streifigen Querschnitt mit baulicher Mitteltrennung ohne Abstellstreifen auf. Die Fahrbahnwässer der A 23, der S 2 sowie der Rampenfahrbahnen, werden im Bestand seitlich entlang den Hochborden gesammelt. In regelmäßigen Abständen sind Einlaufschächte situiert, über welche die Straßen und Böschungswässer in die bestehenden Kanalleitungen beidseits der Trasse bzw. im Mittelstreifen geleitet werden. Die Kanalleitungen werden in das Kanalnetz der Stadt Wien eingeleitet. Im gesamten Projektgebiet befinden sich bestehende Einbauten der Einbautenträger Wien Kanal, Magistratsabteilung 31 (MA 31), Magistratsabteilung 33 (MA33), Wiener Netze (Gas, Strom und Fernwärme), A1 Telekom und der Firma ASFINAG. Für die Umsetzung des Projekts müssen die bestehenden Einbauten teilweise umgelegt werden. Der Großteil der Einbauten wird vor dem Baubeginn verlegt. In einigen Bereichen ist eine Umlegung vor Baubeginn aufgrund der Gegebenheiten oder schwierigen Umsetzbarkeit nicht möglich. [6]

3.1.3 Baubeschreibung (Neubau)

Zur Entlastung des bestehenden signalregulierten Kreuzungsbereiches ist die Adaptierung bestehender und die Errichtung von neuen Rampenfahrbahnen vorgesehen. Dazu zählt unter anderem die Errichtung der zusätzlichen Einzelrampe 3 (siehe Abbildung 3.2). Diese soll die bestehende Übereckverbindung der Autobahnauffahrt auf die A23 für den von Osten kommenden Verkehr des untergeordneten Straßennetzes ersetzen. [6]

Im Zuge der Baumaßnahmen werden folgende Objekte neu errichtet:

- Rampe 3, Auffahrt von Hirschstettner Straße auf A 23 Richtungsfahrbahn (RFB) Wien
- B_S2.R3 Brückenobjekt über die Rampe 2 und Zufahrt Restfläche Rampe 3
- M_S2.R3_L Stützmauer Rampe 3

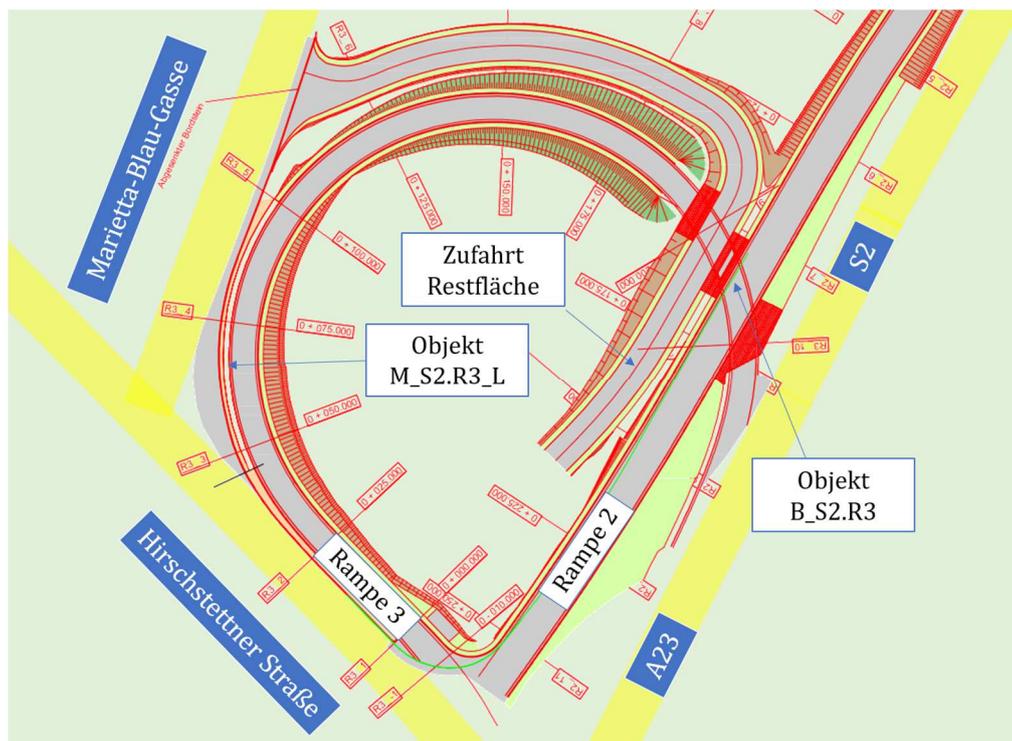


Abbildung 3.2: Übersicht Rampen

Straßenbau

Die straßenbaulichen Maßnahmen beziehen sich im Wesentlichen auf die Errichtung der neuen Rampen 3, 4 und 58, die Adaptierung der Rampe 2 und die Verbreiterung der Bestandsrampen 56 und 1. Für die Neuerrichtung der Rampe 3 müssen im Bereich der Hirschstettner Straße die Verkehrsinsel im Endbereich der Rampe 2 sowie die Stützmauer im Eckbereich Hirschstettner Straße/ Marietta-Blau-Gasse abgebrochen und die Bushaltestelle verlegt werden. Zwischen der Hirschstettner Straße und der Rampe 3 ist ein 1,50 m Trennstreifen vorgesehen der im Bereich der neuen Stützmauer M_S2.R3_L in ein Schrammbord mit einer Breite von mind. 1,0 m übergeht. Am Beginn der Rampe ist auf der rechten Seite der Rampe 3 km 0.000 zu errichten. Nach dem Einschnittbereich und der Stützmauer geht die Rampe in Dammlage über. Im Endbereich der Rampe ist das Brückenobjekt B_S2.R3 über die Zufahrt der Restfläche Rampe 3 und die Rampe 2 herzustellen. [6]

Entwässerung

Die Entwässerung erfolgt im gesamten Projektgebiet über ein „Huckepack“-System. Die oberflächigen Straßenwässer werden entlang der seitlich angeordneten Hochborde zu den Bordsteineinläufen abgeleitet, welche direkt auf den Schächten aufgesetzt sind. Das Unterbauplanum wird über Mehrzweckrohre mit einem Durchmesser von DN 200 entwässert. Die Mehrzweckrohre münden wiederum in den Schächten. Dort werden die gesamten Wässer gesammelt und über ein geschlossenes Rohr mit einem Durchmesser von DN 250 in den Wien Kanal ausgeleitet. Niederschlagswässer, die auf Böschungflächen anfallen werden auch über diese versickert. Einschnittböschungen werden über angeordnete Schotterbankette in das Straßenentwässerungssystem eingeleitet und ebenfalls in den Wien Kanal abgeleitet. [6]

Weitere allgemeine Angaben zur Entwässerung gemäß dem technischen Bericht [6]:

- *Bankette sind im Einschnittbereich mit einer Breite von 1,25 m bis zur Frostschuttschicht mit Schotter aufzufüllen.*
- *Drainageleitungen sind als Mehrzweckrohre PE/PP SN12 DN 200 mit glatter Innenwand auszuführen. Das Mindestgefälle beträgt 0,50 %, die maximale Länge zwischen 2 Schächten beträgt in der Regel 50 m. Die Rohroberkante liegt mindestens 20 cm unter dem tiefsten zu entwässernden Planumpunkt. Die Mehrzweckrohre lagern auf einer 10 cm Unterbetonschicht C20/25/X0, samt teilweiser seitlicher Auffüllung auf.*
- *Längsrohrkanäle sind als geschlossene einschichtige PP SN12 Rohre (DN 250) auszuführen. Das Gefälle beträgt mindestens 0,50 %. Die Längsrohrkanäle lagern auf einer 10 cm Unterbetonschicht C20/25/X0 auf.*
- *Bordsteineinläufe sind in der Regel auf einem DN 1000 Schacht aufgesetzt.*
- *Putz- bzw. Kontrollschächte sind in Betonfertigteilschächten DN 1000 ausgeführt. Schächte die > 5,00 m tief sind, sind mit Fallschutzschienen auszustatten.*

3.1.4 BIM -Verkehrsinfrastrukturforschung (BIM -VIF)

Das BIM-VIF Projekt der Verkehrsinfrastrukturforschung hatte die Entwicklung von Datenstrukturen für bestehende und zukünftige Verkehrsinfrastruktur – im Bereich Straße und Schiene – sowie die Erarbeitung von Grundlagen für die Entwicklung des IFC5 Standards (ISO 16739) zur Aufgabe. Die Datenstruktur wurde unter Beteiligung von Verkehrsinfrastrukturbetreibern und unter Berücksichtigung von bestehenden Richtlinien definiert. Als Ergebnis des

Forschungsprojektes wurde in einem dreistufigen Verfahren ein Ergebnisbericht, welcher die gesamte Datenstruktur dokumentiert, eine maschinenlesbare .xml-Datei, mit der es möglich ist die entwickelte Struktur nahtlos und ohne jegliche Informationsverluste zu verwenden, und ein Kreisdiagramm (siehe Abbildung 3.3), zur Darstellung der Zusammenhänge der einzelnen Komponenten der Struktur, erzeugt. [40]

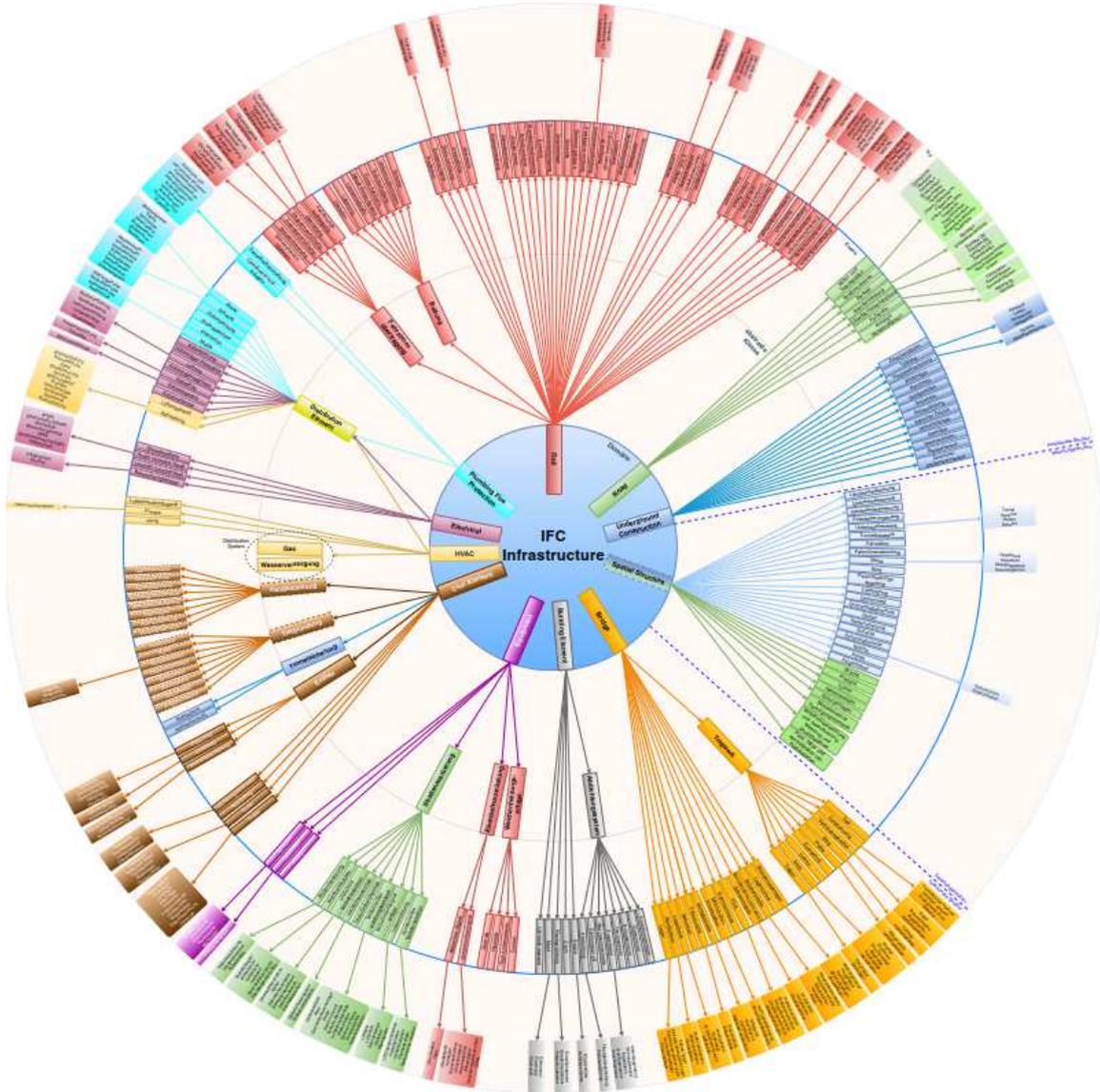


Abbildung 3.3: Struktogramm (Quelle: Verkehrsinfrastrukturforschung Austria [40])

Die Datenstruktur gliedert sich in die zwei Ebenen Verortungsstruktur und funktionale Struktur. Die Verortungsstruktur wird auch als **Spatial Structure** bezeichnet und wird verwendet um der funktionalen Struktur einen räumlichen Bezug im Modell zuzuweisen. Diese **Spatial Structure** kann mit der räumlichen Struktur des IFC-Formates im Hochbau verglichen werden. Während die Gliederung im Hochbau vertikal strukturiert ist (Grundstück, Gebäude, Geschosse, Räume), werden bei Infrastrukturbauten horizontale Abschnitte benötigt. Die zweite Ebene – die funktionale Struktur – dient der näheren Klassifizierung der unterschiedlichen Fachdisziplinen eines Infrastrukturbauwerks. Für diese Disziplinen wurden analog zum Hochbau die neuen Domänen Bridge, Equipment, Rail, Road und Underground Construction definiert. Weiters wurden die in der IFC-Struktur bereits vorhandenen Domänen Building Element, Civil Element, Electrical,

HVAC³ und Plumbing Fire Detection um die Anforderungen der Verkehrsinfrastruktur ergänzt. Die funktionale Struktur gliedert sich näher in abstrakte Klassen, Elementklassen (Einteilung der Elemente nach Funktion) und ihre zugehörigen Elementtypen (nähere Klassifizierung). Für die unterschiedlichen Elementtypen wurden letztlich einige Merkmale (Attribute) entsprechend den jeweiligen Richtlinien für Betrieb, Kalkulation und Planung definiert. [40]

3.1.5 Auftraggeber-Informationsanforderungen

Die Auftraggeber-Informationsanforderungen sind eine konkrete Beschreibung der Informationsbedürfnisse des Auftraggebers. Sie geben die Anforderungen an Informationen bzw. die Geometrie des Projektes für den Auftragnehmer an. Für das Projekt „ASt Hirschstetten“ wurden die Auftraggeber-Informationsanforderungen [1] von der Ziviltechniker GmbH Acht erstellt. Die folgenden in den AIA definierten BIM-Ziele bilden die Grundlage für die wissenschaftliche Begleitung dieses Projekts:

- *Erarbeitungen zur baubetrieblichen Modellierung*
- *Modellbasierte Ausschreibung*
- *Defizitanalyse der Ausschreibungsplanung*
- *Dokumentation des Informationsverlaufs*

In der Erarbeitung zur baubetrieblichen Modellierung soll untersucht werden welche Möglichkeiten sich durch die Nutzung der BIM-Methode für das vorliegende Projekt ergeben und wie die Vorgehensweise zur optimalen Nutzung der Methode auszusehen hat. Auf Basis der erzielten Ergebnisse soll in weiterer Folge ein Modellierleitfaden entstehen. Das zweite BIM-Ziel – die modellbasierte Ausschreibung – dient der Untersuchung der Verwendbarkeit des BIM-Modells für die Ausschreibung. Weiters sollen unterschiedliche Möglichkeiten einer Ausschreibung (funktional, konstruktiv) aufgezeigt werden. Ziel der Defizitanalyse ist es, eventuell auftretende Planungsfehler frühzeitig aufzuzeigen und noch vor der Vergabe der Bauleistungen zu beseitigen. Zuletzt ist der Informationsverlauf im Baubetrieb zu verfolgen und zu dokumentieren. Dabei soll untersucht werden, welche Daten durch eine frühere Generierung Problemstellungen im Baubetrieb vermeiden oder reduzieren hätten können. [1]

Des Weiteren wurden in den AIA folgende BIM-Anwendungsfälle zur Erfüllung der übergeordneten BIM-Ziele definiert:

- *Fachmodelle auf Basis der Einreichung*
- *Defizitanalyse*
- *Koordination der Fachmodelle*
- *Koordinierung am Gesamtmodell – Kollisionsprüfung*
- *Planableitung vom Modell*
- *Mengenermittlung*
- *Verknüpfung mit Leistungsverzeichnis*

³ Heating, Ventilation and Air Conditioning

Die Abarbeitung dieser BIM-Anwendungsfälle erfolgt in den Abschnitten 3.2 bis 3.8 dieser Arbeit, wobei das Kapitel „Koordination der Fachmodelle“ an den Beginn gestellt wurde.

Des Weiteren sind im Anhang zu den Auftraggeber-Informationsanforderungen [1] einige verallgemeinerte BIM-Rollen, die für die Abwicklung eines Projektes notwendig sind, definiert. Diese Rollen wurden für die Bearbeitung des vorliegenden Infrastrukturprojektes an die projektspezifischen Anforderungen angepasst und verfeinert. Für die vollständige Bearbeitung wurden die Rollen der BIM-Manager, des BIM-Gesamtkoordinators, der BIM-Fachkoordinatoren und der BIM-Modeller lt. Abbildung 3.4 identifiziert.

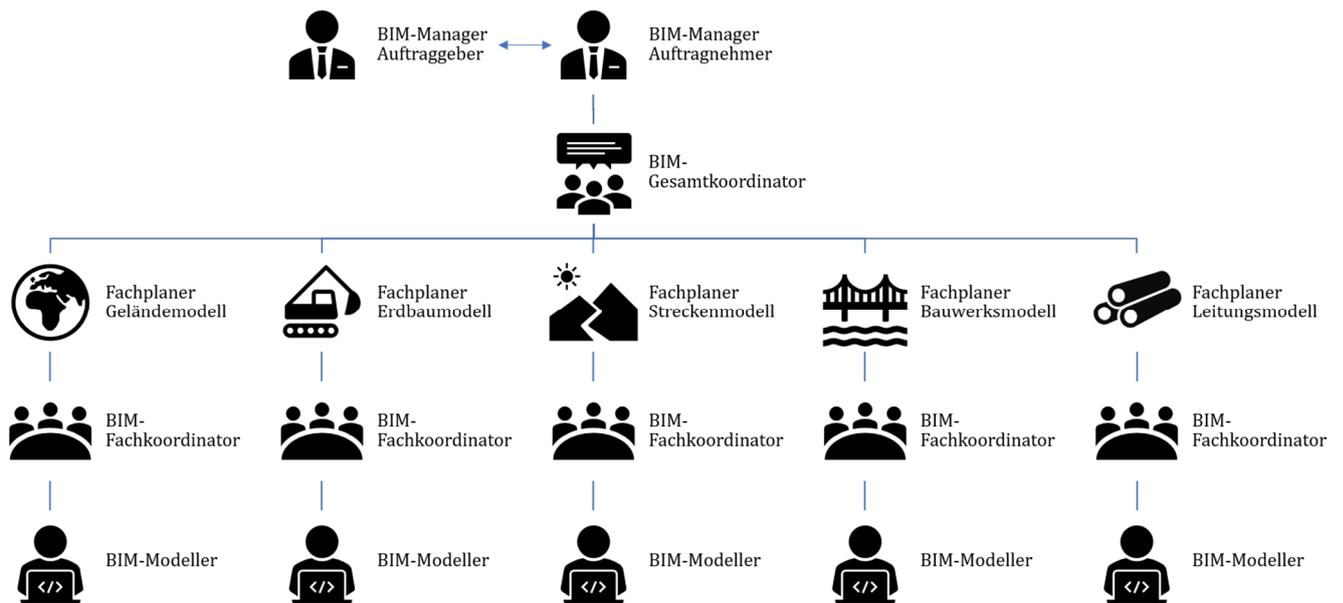


Abbildung 3.4: BIM-Rollen für das Projekt „AS Hirschstetten“

Der BIM-Manager auf Auftraggeberseite definiert im Vorfeld das Ausmaß der Nutzung von BIM in einem Projekt und überprüft die Einhaltung der festgelegten Maßnahmen. Sein Gegenüber ist der BIM-Manager auf Auftragnehmerseite. Dieser ist für die Erstellung einer Strategie zur Erfüllung der BIM-Ziele und BIM-Anwendungsfälle verantwortlich. Gemeinsam mit dem BIM-Gesamtkoordinator gibt er außerdem die Anforderungen an die Geometrie und den Informationsgehalt der Modelle vor. Zu den weiteren Aufgaben des BIM-Gesamtkoordinators zählen die Definition der Modellstruktur, die Modellkoordination und die Modellprüfung. Zusätzlich wurden fünf Fachplaner für die Disziplinen Geländemodell, Erdbaumodell, Streckenmodell, Bauwerksmodell und Leitungsmodell identifiziert. Jeder Fachplaner setzt sich dabei aus einem BIM-Fachkoordinator und einem oder mehreren BIM-Modellern zusammen. Während letzteren die Aufgabe der Modellierung und Attributierung einzelner Teilmodelle zukommt, sind die BIM-Fachkoordinatoren für das Zusammenführen dieser zu einem konsolidierten Fachmodell verantwortlich. Die erstellten Fachmodelle müssen den von dem BIM-Manager bzw. dem BIM-Gesamtkoordinator definierten Anforderungen entsprechen.

Alle Rollen bis auf die der beiden BIM-Manager wurden im Zuge dieser Arbeit vom Autor übernommen. Um den BIM-Prozess so realitätsnah wie möglich zu gestalten wurden die unterschiedlichen Aufgabengebiete getrennt nach den Rollen behandelt.

3.2 Koordination der Fachmodelle

Der BIM-Anwendungsfall „Koordination der Fachmodelle“ liegt im Verantwortungsbereich des BIM-Gesamtkoordinators und wurde an den Beginn der Arbeit gesetzt, weil es noch vor Erstellung der Fachmodelle notwendig ist einige Punkte abzuklären. Dazu zählen unter anderem die Aufteilung und Definition der Fachmodelle selbst (Modellstruktur), sowie die sich daraus ergebenden Modellgrenzen und Schnittstellen (projektspezifische Modellgrenzen und Schnittstellen). Dafür ist ein gesamtheitliches Verständnis des Projektes und aller damit verbundenen Gewerke erforderlich. Weiters liegt es im Verantwortungsbereich des BIM-Gesamtkoordinators die einzelnen Fachmodelle zu koordinieren (Modellkoordination) und auf Kollisionsfreiheit und Vollständigkeit hinsichtlich alphanumerischer Informationen zu überprüfen (Modellprüfung).

3.2.1 Modellstruktur

Um das Projekt und die einzelnen BIM-Rollen während der Bearbeitung so realitätsnah wie möglich zu gestalten ist eine Aufteilung des Projektes in die einzelnen Modelle, welche von den unterschiedlichen Fachplanern erstellt werden müssen, erforderlich. Abbildung 3.5 zeigt den Modellstrukturplan für das vorliegende Projekt. Wie bereits in den BIM-Rollen ersichtlich, wurde das Modell in fünf Fachdisziplinen unterteilt. Die sich daraus ergebenden fünf Fachmodelle sind wiederum in Teilmodelle unterteilt, die beispielsweise von unterschiedlichen BIM-Modellern erzeugt werden können.

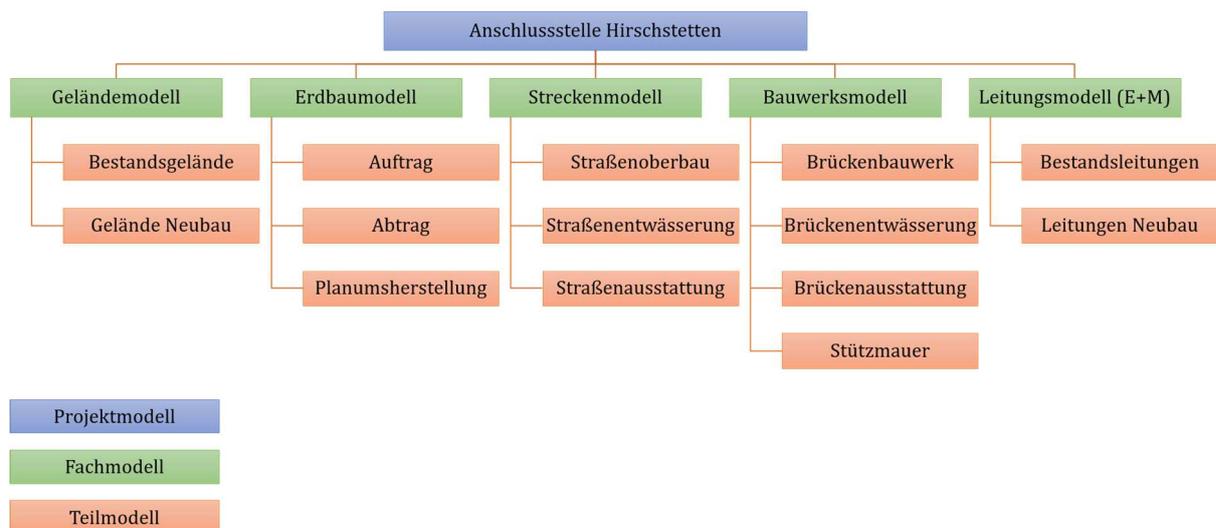


Abbildung 3.5: Modellstrukturplan für das Projekt „ASt Hirschstetten“

Der IFC-Standard liegt aktuell in der Version 4.1 vor. Wie in Abschnitt 3.1.4 festgehalten ist in diesem Standard noch keine allgemein gültige räumliche Struktur (= Spatial Structure) für den Infrastrukturbereich definiert. Will man dennoch das generierte Infrastrukturmodell als offene IFC-Datei übergeben, so sind die Modellelemente in einer geeigneten Softwarelösung in die aus dem Hochbau bekannte räumliche Struktur einzuarbeiten. Diese Struktur ist in räumliche Elemente unterteilt, die im Attribut `IfcSpatialStructureElement` festgehalten sind, und wird häufig verwendet um eine Projektstruktur zum Organisieren eines Bauprojekts bereitzustellen. Sie kann in so viele Sparten gegliedert werden wie für das Projekt erforderlich.

Elemente innerhalb der räumlichen Projektstruktur sind:

- IfcSite – Grundstück
- IfcBuilding –Bauwerk
- IfcBuildingStorey – Geschoss
- IfcSpace - Raum

Für das vorliegende Projekt wurde die in Abbildung 3.5 dargestellte Modellstruktur (=funktionale Struktur) in der Koordinationssoftware Desite MD Pro in die räumliche Struktur (=Verortungsstruktur) nach IFC-Standard übergeführt. Abbildung 3.6 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Bauwerkstruktur in Desite MD Pro. Durch diese Vorgehensweise ist es nun möglich ein konsolidiertes Planungsmodell im offenen IFC-Format zu übergeben.



Abbildung 3.6: Ausschnitt der Bauwerkstruktur für den IFC-Export

3.2.2 Projektspezifische Modellgrenzen und Schnittstellen

Neben der disziplinarischen Teilung des Modells ist es notwendig räumliche Grenzen zwischen den Modellen und zur Umgebung zu definieren. Die Abgrenzungen der einzelnen Modelle zur Umgebung und anderen Bauwerken werden als Modellgrenzen und die Abgrenzungen der Teilmodelle untereinander als Schnittstellen bezeichnet. Diese sind in Abstimmung mit dem Leitplaner (i.d.R. Streckenplaner) zu definieren und als Achsstationen anzugeben. Für die Modellierung des Teilabschnittes der ASt Hirschstetten wurden die Modellgrenzen und Schnittstellen folgendermaßen definiert.

Das Streckenmodell schließt im Bereich zwischen km 0+010.000 und km 0+000.000 an den Bestand der Hirschstettner Straße an. Die in Stationierungsrichtung linke Begrenzung ist somit die Fahrbahn der bestehenden Straße. Von km 0+000.000 bis km 0+100.000 ist die linke Begrenzung der neu herzustellende Leistensteine der Hirschstettner Straße bzw. der Marietta-Blau-Gasse. Ab km 0+100.122 ist die linke Begrenzung das Gelände, da sich die Rampe in Dammlage befindet. Auf der, in Stationierungsrichtung, rechten Seite der Rampe bildet der Punkt, an dem die Neuplanung auf das Bestandsgelände trifft, die Begrenzung des Modells. Die Rampe befindet sich bis etwa km 0+100.000 im Einschnittbereich und danach im Dammbereich. Die Böschungen für beide Fälle sind entsprechend herzustellen und bilden die Modellgrenze des Streckenbaus. Im Bereich des Brückenbauwerks von km 0+185.352 bis km 0+235.446 ist lediglich die Deckschicht vom Straßenplaner zu modellieren. Es kommt also zu einer horizontalen Schnittstelle zum Fachmodell der Ingenieurbauwerke. Neben dem Bereich vor dem Brückenbauwerk gibt es noch einen zweiten

Bereich, zwischen dem Ende der Brücke und dem Anschluss an die A23, der vollständig vom Streckenplaner zu modellieren ist. Er beginnt am Ende der Brücke an der Station 0+231.895. Der Anschluss an die A23 erfolgt zwischen km 0+236.273 und km 0+254.624 und definiert somit das Ende des Modells.

Die Stützmauer M_S2.R3_L ist zwischen km 0+046.000 und km 0+100.122 der Straßenachse angeordnet. Mit dieser Schnittstelle zum Teilmodell Ingenieurbauwerke ergibt sich für die Strecke eine Lücke im Modell. Die linke Begrenzung für die Rampe ist demnach die der Fahrbahn zugewandte Seite der Stützmauer. Auf der, der Fahrbahn abgewandten, Seite der Stützmauer erfolgt der Anschluss wie oben beschrieben an die Hirschstettner Straße bzw. die Marietta-Blau-Gasse. Weil die Ausstattung der Stützmauer achsenbezogen ist, wurde sie in das Teilmodell Straßenausstattung aufgenommen. Somit gibt es kein eigenes Teilmodell „Ausstattung Stützmauer“ und es ergibt sich eine weitere horizontale Schnittstelle. Die Oberkante (OK) der Stützmauer markiert demnach die Grenze zur Straßenausstattung.

Die erste Schnittstelle zum Brückenbauwerk B_S2.R3 wurde normal auf die Achse bei km 0+185.352 gewählt. Sie ist gleichzeitig der Beginn des Randbalkens Ost und ist in Abbildung 3.7 dargestellt. Durch die vorgegebene Geometrie der Schleppplatte, die nicht normal auf die Achse steht, kommt es im Bereich der Schnittstelle zu einer Überlappung, die aufgrund der geringen Größe in der Modellierung nicht berücksichtigt wurde.

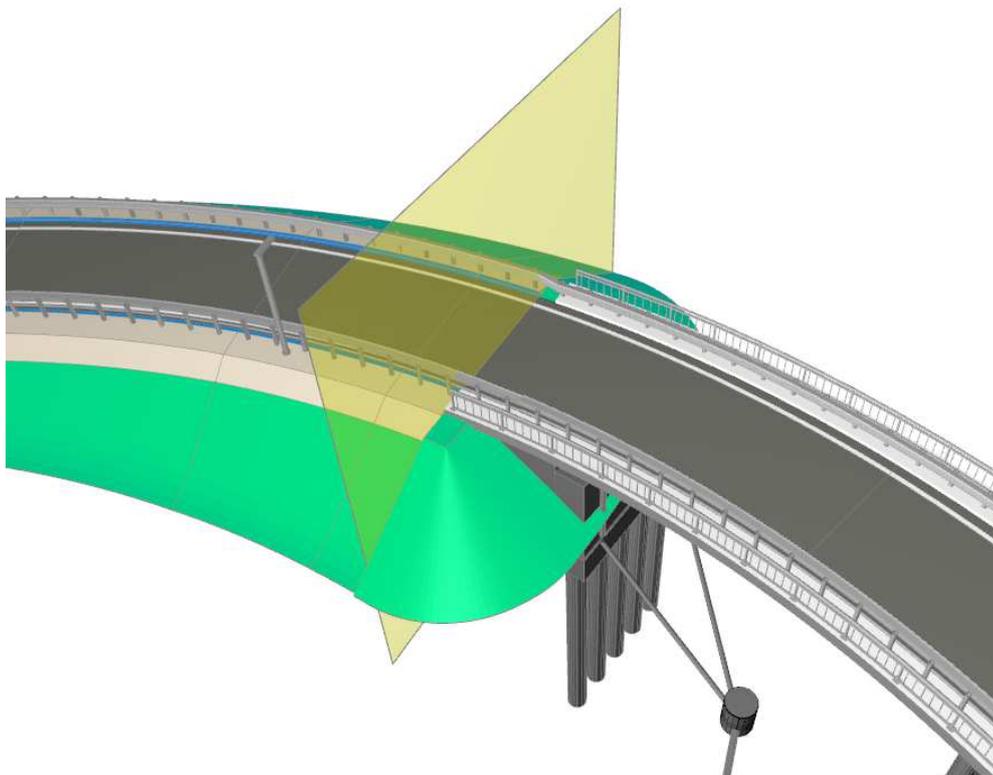


Abbildung 3.7: Schnittstelle 1 Streckenmodell-Bauwerksmodell

Die Schnittstelle zwischen dem Brückentragwerk und dem Straßenoberbau des zweiten Teils des Streckenmodells wurde schräg auf die Achse gewählt. Sie verläuft zwischen den Stationen km 0+231.895 und km 0+235.446 und ist in Abbildung 3.8 dargestellt. Die anderen Modellelemente des Fachmodells Ingenieurbauwerke (Randbalken, Auffüllungen, Auflagerbänke) stehen nicht in Berührung mit anderen Fachmodellen und laufen über die genannte Schnittstelle hinweg. Neben den beiden vertikalen Schnittstellen am Anfang und am Ende der Brücke ergibt sich eine weitere horizontale Schnittstelle. Die Asphaltdeckschicht der Rampe ist im Bereich der Brücke ebenfalls

vom Streckenplaner zu erstellen. Die Unterkante der Asphaltdeckschicht ist demnach die horizontale Schnittstelle zur Brücke.

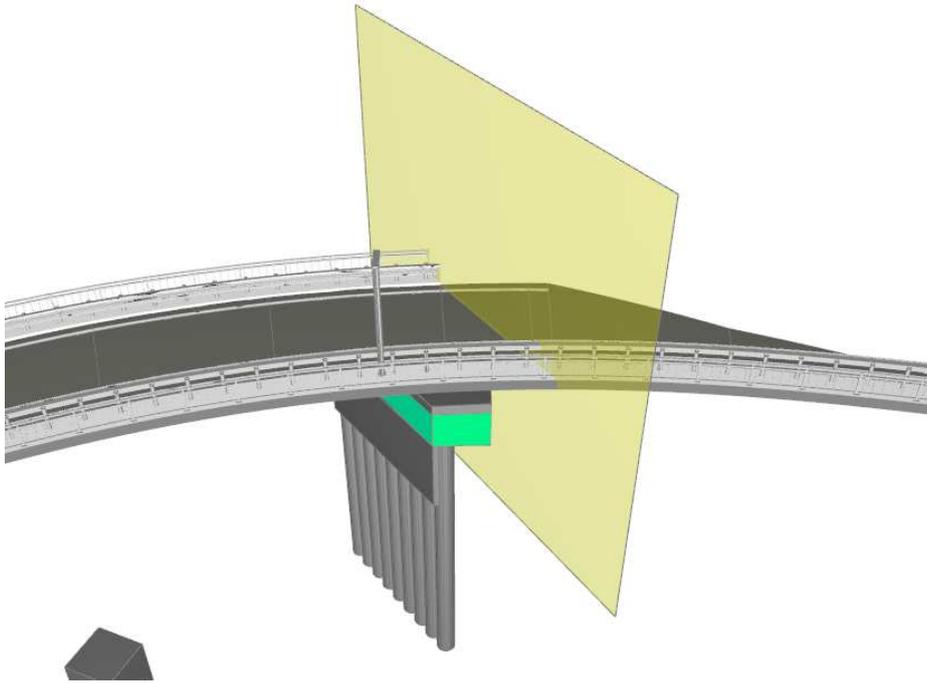


Abbildung 3.8: Schnittstelle 2 Bauwerksmodell-Streckenmodell

3.2.3 Modellkoordination

Die Modellkoordination zählt zu den Hauptaufgaben des BIM-Gesamtkoordinators. Darunter versteht man das Zusammenführen der einzelnen Fachmodelle zu einem Koordinationsmodell mit anschließenden Prozessen des modellbasierten Qualitätsmanagements. Sie dient dem Erkennen von Konflikten, die einer Abstimmung bedürfen und verbessert somit die Planungsqualität bei gleichzeitiger Verringerung von Risiken in Bezug auf Kosten und Termine. Die Koordination der Fachmodelle erfolgt auf Basis von regelmäßigen Datenübergaben (Data Drops). Nach erfolgter Modellprüfung durch den BIM-Gesamtkoordinator werden in einer Koordinationssitzung (Planungsbesprechung) etwaige Konflikte mit den Fachplanern besprochen. Dabei kann die Kommunikation direkt am Modell oder über das BCF geschehen. [1]

Für den Datenaustausch von BIM-Modellen empfiehlt es sich ein Common Data Environment (CDE) – eine gemeinsame Datenumgebungen – zu verwenden, die bereits Tools zur modellbasierten Kommunikation enthält. Im vorliegenden Projekt wurde eine solche Umgebung nicht eingerichtet, da die einzelnen BIM-Rollen von einer Person verkörpert wurden. Dennoch ist es notwendig die Datenformate für den Informationsaustausch in Abhängigkeit von der gewählten Koordinationsoftware zu definieren. Abbildung 3.9 zeigt die verwendeten Datenformate für die Modellkoordination in Desite MD Pro.

Um die einzelnen Teilmodelle lagemäßig richtig zusammenführen zu können, ist es notwendig im richtigen Bezugskoordinatensystem zu arbeiten. In der Baupraxis kommen üblicherweise die in Abschnitt 2.4.1 beschriebenen Gauß-Krüger-Koordinatensysteme zur Anwendung. Im Folgenden wird auf die Vorgehensweise zur Einrichtung des Koordinatensystems in den unterschiedlichen Softwarelösungen eingegangen. Diese Aufgabe liegt streng genommen in der Verantwortung des jeweiligen Fachplaners. Weil der BIM-Gesamtkoordinator das Bezugskoordinatensystem definieren und sicherstellen muss, dass die Fachplaner lagemäßig korrekte Modelle liefern, wird diese Einrichtung des Koordinatensystems in diesem Abschnitt behandelt.

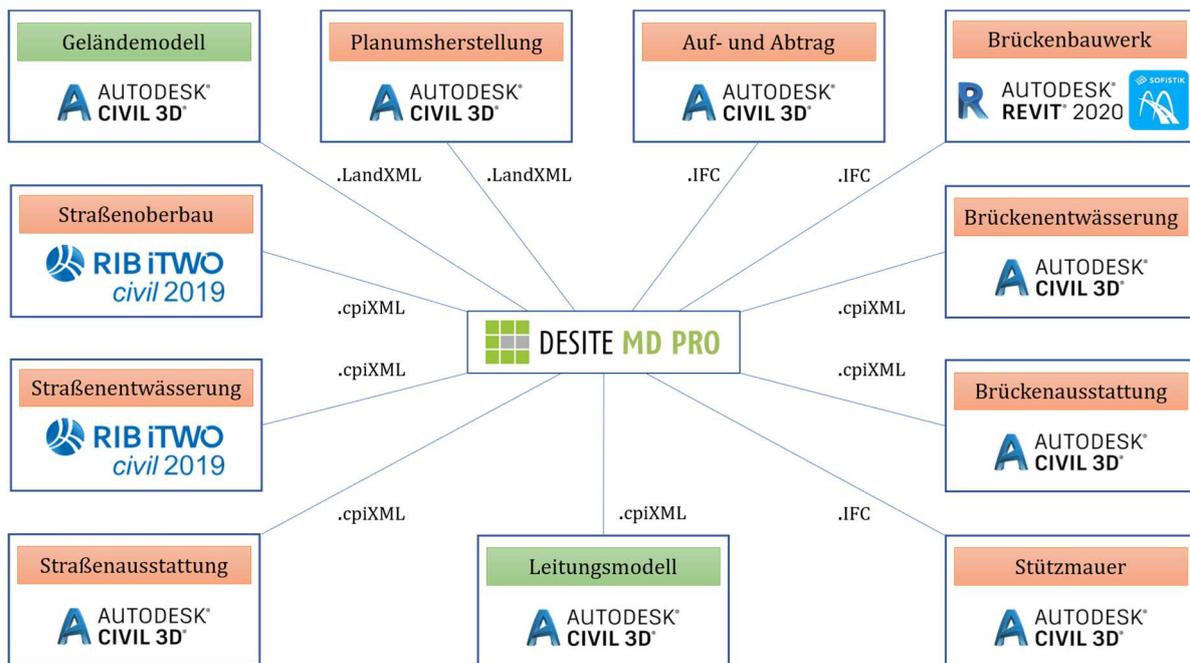


Abbildung 3.9: Datenformate für den Informationsaustausch

Das Bezugskordinatensystem für das vorliegende Projekt ist das Koordinatensystem MGI/ Austria GK East Zone. Der Großteil der 2D-Plandaten aus der konventionellen Planung liegt bereits in Gauß-Krüger-Koordinaten vor. Die gängigen CAD-Systeme arbeiten mit einem sogenannten Weltkoordinatensystem. Dieses entspricht einem kartesischen Koordinatensystem mit orthogonalen Achsen und dient als Basis für die relativen Koordinatensysteme wie z.B. Gauß-Krüger. Um die Modelle, die in Autodesk Civil 3D auf Basis dieser Pläne generiert wurden, lagemäßig richtig zusammenführen zu können, ist lediglich das oben genannte Koordinatensystem in der Software zuzuweisen.

Während Autodesk Civil 3D, wie oben beschrieben mit einem Weltkoordinatensystem arbeitet, verwendet Autodesk Revit ein lokales und in seiner Größe limitiertes Koordinatensystem. Die einfachste Möglichkeit den Revit-Koordinaten Geoinformationssystem (GIS)-Koordinaten zuzuordnen besteht in der Verknüpfung einer georeferenzierten Zeichnung. Dabei richtet die Software die Weltkoordinaten der Verknüpfung an den gemeinsam genutzten Koordinaten des Modells aus. Die Geoposition des Revit-Modells wird aktualisiert, wobei die Geoposition der Verknüpfung übernommen wird.

In RIB iTWO Civil dienen die Achsen als Basis für die Generierung der 3D-Trassenkörper. Das Aufsetzen dieser Achsen erfolgt in der Trassierungssoftware über die Definition eines Anfangselementes (Gauß-Krüger-Koordinaten des Anfangspunktes und Anfangsrichtung des Elementes) und anschließendes Aneinanderreihen von weiteren Trassierungselementen. Durch die Übernahme der Lage des Anfangselementes aus den georeferenzierten 2D-Planungsunterlagen ist das Modell bereits lagemäßig richtig verortet.

3.2.4 Modellprüfung

Die Festlegung der Anforderungen an die Geometrie (LOG) und an die alphanumerischen Informationen (LOI) erfolgt in der Regel durch die BIM-Manager auf Auftraggeber- und Auftragnehmerseite. Es liegt jedoch im Aufgabenbereich des BIM-Gesamtkoordinators die einzelnen Fachmodelle auf Richtigkeit, Kollisionsfreiheit und Vollständigkeit der geforderten Attribute zu kontrollieren. Um die Attribute nicht bei jedem Projekt neu definieren zu müssen, kann auf

sogenannte Merkmalsammlungen zurückgegriffen werden. Klassische Beispiele für solche Sammlungen stellen der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA) oder die Anweisung Straßeninformationsbank (ASB) in Deutschland dar.

Auf internationaler Ebene sind die im IFC-Standard implementierten Merkmale zur Klassifizierung von Elementen zu nennen. Diese sind sehr allgemein gehalten und werden daher in Österreich durch den, in der ÖNORM 6241-2 [8] beschriebenen, Merkmalsserver (MMS) ergänzt. [4]

Für das vorliegende Projekt wurde auf die Ergebnisse aus dem BIM-VIF Projekt zurückgegriffen. Aus den im Ergebnisbericht definierten Attributen wurde eine Schnittmenge mit den wichtigsten Merkmalen gebildet. Diese wurden weiters in vier Eigenschaftensammlungen – sogenannte Property Sets – zusammengefasst. Aufgrund der geringen Anforderungen an den LOI (Ausschreibungsphase) wurden nur einige wenige Attribute in das Modell eingearbeitet. Diese umfassen vor allem Attribute für die Modellstruktur, mit denen es möglich ist die Modellelemente in der Koordinationssoftware intelligent auszuwerten. Beispielsweise können die Elemente in Desite MD Pro über Skripte automatisiert in die Bauwerkstruktur nach Abschnitt 3.2.1 eingeordnet werden. Diese Tätigkeit muss bei einem neuerlichen Data Drop kein zweites Mal durchgeführt werden. Die für das vorliegende Projekt definierten Attribute sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Attribute für das Projekt „ASt Hirschstetten“

	Attribut	Datentyp	Einheit
Modellstruktur	Projektmodell	[Text]	[-]
	Fachmodell	[Text]	[-]
	Teilmodell	[Text]	[-]
	Elementklasse	[Text]	[-]
	Elementtyp	[Text]	[-]
Identifikation	Modellersteller	[Text]	[-]
	Erstellungsdatum	[Date]	[TT.MM.JJJJ]
	Anfangsstation	[Numeric]	[-]
	Endstation	[Numeric]	[-]
	Fahrtrichtung	[Text]	[-]
	Objektbezeichnung	[Text]	[-]
	Typ	[Text]	[-]
Geometrie	Laenge	[Numeric]	[m]
	Hoehe	[Numeric]	[m]
	Breite	[Numeric]	[m]
	Schichtdicke	[Numeric]	[m]
	Durchmesser	[Numeric]	[m]
	Wandstaerke	[Numeric]	[m]
	Abstand	[Numeric]	[m]
	Flaeche	[Numeric]	[m ²]
	Volumen	[Numeric]	[m ³]
Allgemein	Material	[Text]	[-]
	Bewehrungsgehalt	[Numeric]	[kg/m ³]
	Aufhaltstufe	[Text]	[-]
	Wirkungsbereich	[Text]	[-]
	Bodenklasse	[Text]	[-]

3.3 Fachmodelle auf Basis der Einreichung

Im folgenden Abschnitt ist die Vorgehensweise zur Erstellung der einzelnen Fachmodelle auf Basis einer konventionellen 2D-Planung erläutert. Es handelt sich dabei um eine Übersetzung von 2D-Planungsdaten in ein 3D-Modell. Einige Schritte sind dabei im Vergleich zu einer reinen BIM-Planung zusätzlich erforderlich. Im Folgenden wird keine reine BIM-Planung beschrieben, sondern lediglich Methoden aufgezeigt, mit denen aus 2D-Daten ein dreidimensionales Modell generiert werden kann. Die zu den Fachmodellen zugehörigen Methoden zur Mengenberechnung werden in Abschnitt 3.7 behandelt.

3.3.1 Geländemodell

Das Geländemodell ist in die Teilmodelle Bestandsgelände und Gelände Neubau unterteilt. Es ist von einem eigenen Fachplaner zu erstellen, kann aber aufgrund der ähnlichen Herangehensweise auch vom Fachplaner für das Erdbaumodell generiert werden.

Bestandsgelände

Als Basis für die Modellierung des Bestandsgeländes wird das digitale Geländemodell für den Bereich 36/2 vom Geodaten Viewer der Magistratsabteilung 41 der Stadt Wien [38] verwendet. Dabei handelt es sich um einen kostenlosen Dienst der Stadt Wien, der digitale Geodaten online zur Verfügung stellt. Dazu zählen unter anderem Geländedarstellungen und Luftbilder, Informationen zu Höhenfestpunkten und im Rahmen der Open Government Data Wien Initiative zur Verfügung gestellte Geobasisdaten. Abbildung 3.10 zeigt das Geländemodell in seinem ursprünglichen Zustand.

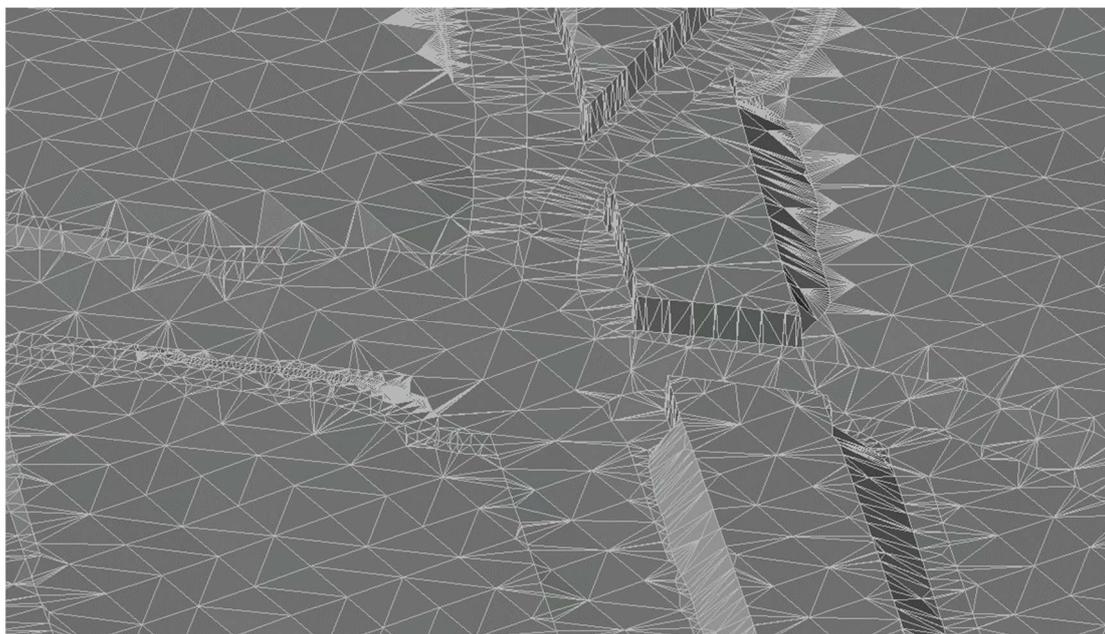


Abbildung 3.10: DGM im Kreuzungsbereich - unbearbeitet

Die Maschenweite dieses DGM beträgt 10 m in den flächigen Bereichen. In den Bereichen der Straßen ist die Vermaschung enger, das DGM ist in diesem Zustand jedoch nur ein grober Anhaltspunkt und nicht sehr detailliert. Weiters beziehen sich die Höhen des DGM und der Vermessungsdaten auf das Wiener Null. Sie müssen noch auf die Höhe über Adria gebracht werden, auf die sich die gesamte restliche Planung bezieht. Dies geschieht durch einfaches Addieren der Bezugshöhe des Wiener Null, welches auf 156,68 m ü. Adria liegt.

Mangels der Aussagekraft des DGM wird dieses um die von der Firma ASFINAG zur Verfügung gestellten Vermessungsdaten (siehe Abbildung 3.11) des Büros „Vermessung Angst ZT“ ergänzt. Bei den Daten handelt es sich einerseits um Höhenpunkte im Gelände, die in regelmäßigen Abständen aufgenommen wurden und andererseits um Bruchkanten, die wichtige Informationen zum Verlauf von Böschungs-OK und -fuß, Leistenstein-OK am Fahrbahnrand und an den Verkehrsinseln und Asphalt-OK am Straßenrand enthalten. Weiters liegen Gehwege, Einfahrten, Entwässerungsscheiden und die bestehende Auflagerbank der A23 in Form von Bruchkanten vor.

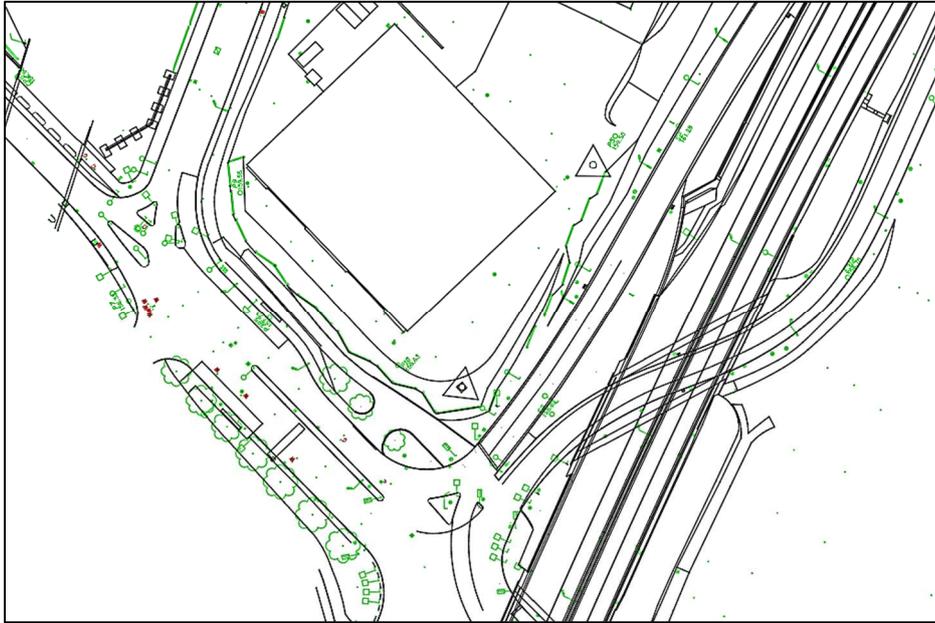


Abbildung 3.11: Vermessungsdaten Angst ZT

Das Bestandsgelände wurde im betroffenen Bereich um die Vermessungsdaten ergänzt. Dazu wurde die, für den Tiefbau optimierte Softwarelösung Autodesk Civil 3D verwendet. Abbildung 3.12 zeigt das Urgelände DGM im Kreuzungsbereich mit den eingearbeiteten Vermessungsdaten.

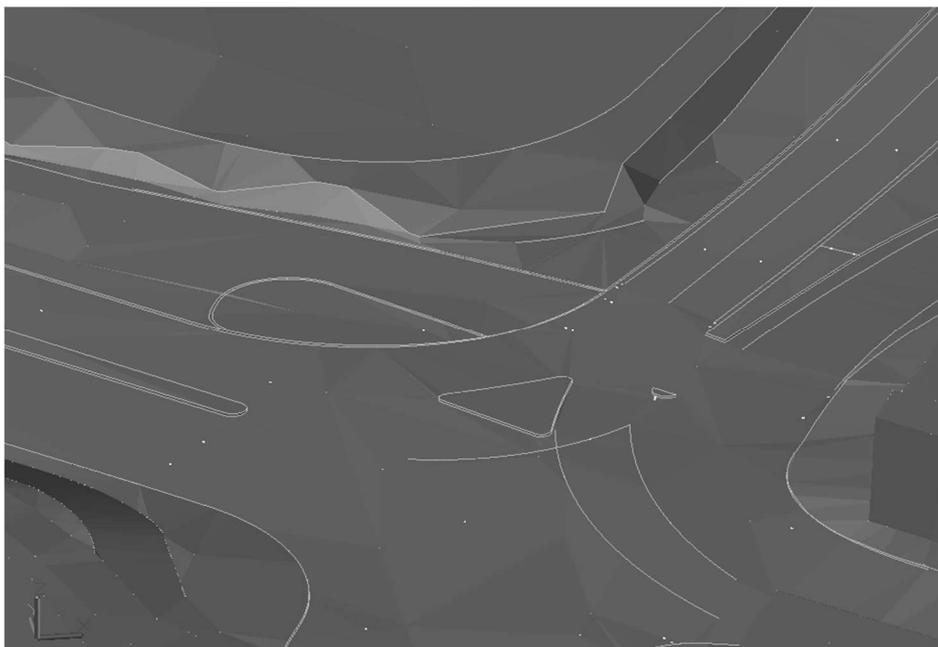


Abbildung 3.12: Bestands-DGM mit eingearbeiteten Vermessungsdaten im Kreuzungsbereich

Gelände Neubau

Unter dem Neubaugelände versteht man das Urgelände abzüglich der Abtragskörper bzw. zuzüglich der Auftragskörper aus dem Erdbaumodell. Es entspricht somit dem Gelände nach Fertigstellung der Erdarbeiten. Die Schichten des Straßenoberbaus und die Ingenieurbauwerke aus dem Bauwerksmodell bauen unmittelbar auf dem DGM auf. Es wird vom Fachplaner für das Geländemodell aus dem Urgelände-DGM und dem Planums-DGM aus dem Teilmodell „Planumsherstellung“, welches die Grenze zwischen Oberbau und Erdbau bildet, erzeugt.

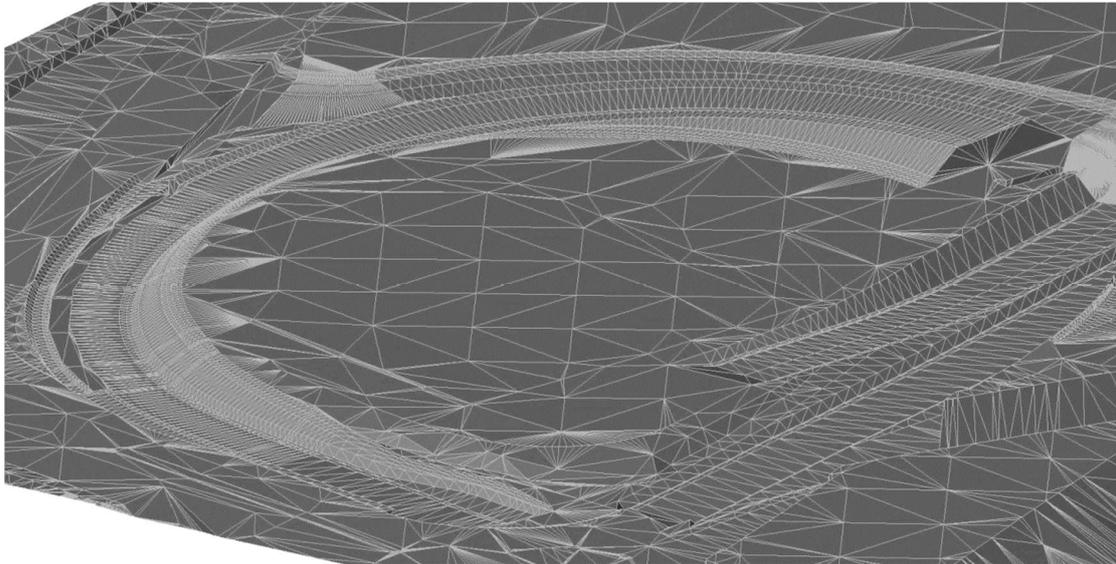


Abbildung 3.13: Gelände Neubau mit eingearbeitetem Planum

3.3.2 Erdbaumodell

Unter dem Erdbaumodell wird die Darstellung des Abtrages bzw. des Auftrages in Form von 3D-Volumenkörpern verstanden. Diese Ab- und Auftragskörper werden aus der Differenz des Bestandgeländes zur Grenze des Neubaus gebildet. Letztere kann beispielsweise das Unterbauplanum der Strecke, verlängert um die Böschungen – bis diese auf das Urgelände treffen⁴ – oder die Grundfläche eines Fundaments sein. Es ist notwendig für diese Grenzen des Neubaus eine Reihe von digitalen Geländemodellen zu erstellen. Dieser Vorgang liegt streng genommen im Verantwortungsbereich der Fachplaner. Weil diese DGM in der Regel noch angepasst werden müssen und als Basis für das Erdbaumodell dienen wird die Vorgehensweise zur Planumsherstellung im folgenden Abschnitt näher beschreiben.

Planumsherstellung

Für die Grenze des Neubaus wird bei der Strecke das Unterbauplanum herangezogen. Die sich darunter befindlichen Schichten zählen somit zum Erdbaumodell, alle darüber liegenden neu herzustellenden Schichten zählen zum Oberbau und damit zum Teilmodell Streckenbau. Das Unterbauplanum der Rampe 3 kann vom Fachplaner für den Straßenbau direkt aus der Trassierungssoftware ausgegeben werden. Die Erste Möglichkeit besteht in der Interpolation des Horizontes, der das Planum in den Querprofilen definiert. Hierbei wird jedoch die Krümmung der Achse nicht berücksichtigt, und das DGM stellt eine geradlinige Verbindung der Linien in den Querprofilen

⁴ Im Folgenden wird das erweiterte Unterbauplanum im Sinne der Begrenzung zum Neubau nur mehr als Unterbauplanum bezeichnet.

dar. Die wesentlich genauere Methode ist die Berechnung der Oberfläche nach REB-VB 21.022. Hierbei wird die Krümmung der Achse berücksichtigt und ein DGM mit engerer Vermaschung erstellt.

Ein Sonderfall ergibt sich für die Straßenentwässerung am rechten Fahrbahnrand. Während der Grabenaushub im Bereich, in dem das Unterbauplanum unter dem Urgelände zum Liegen kommt, für sich selbst steht, mindert er im Dammbereich (siehe Abbildung 3.14) streng genommen die Kubatur des einzubauenden Schüttmaterials (Auftragskörper) ab. Im Zuge der Bauausführung wird jedoch zuerst der Dammkörper bis zum Unterbauplanum hergestellt und erst anschließend der Graben ausgehoben. Dementsprechend wurden die Volumenkörper mit einer Überlagerung generiert.

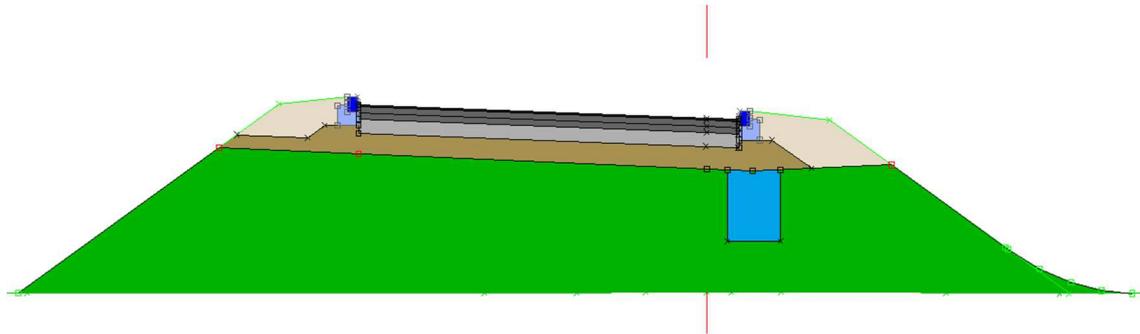


Abbildung 3.14: Grabenaushub im Dammbereich

Die Rampe 2 und die Zufahrt zur Restfläche sind zwar nicht Teil der Modellierung, die Informationen zu deren Planum sind jedoch für die vollständige Erzeugung des Erdbaumodells (vor allem unter der Brücke) von großer Bedeutung. Weil die detaillierte Modellierung der beiden Straßen inkl. deren Aufbau nicht Teil dieser Arbeit ist, wurden lediglich das Planum und die fertige Deckschicht konstruiert. Zum Zweck der Überprüfung mehrerer unterschiedlicher Methoden wurden dazu zwei Verfahren miteinander verglichen. Die Achsen der Rampe 2 und der Zufahrt zur Restfläche wurden dafür in der Trassierungssoftware inklusive der zugehörigen Gradienten erstellt. Für die Rampe 2 wurden das Planum und die Deckschicht aus den vorhandenen Querprofilen aus der konventionellen 2D-Planung in REB-Daten der Art 66 übertragen. Diese wurden anschließend in die Trassierungssoftware eingelesen. Die Querprofile der Zufahrt zur Restfläche sind in denen der Rampen 2 und 3 enthalten. Diese sind somit nicht (stationsmäßig) auf die Achse der Zufahrt bezogen. Weiters wird die Zufahrt schräg auf ihre Achse geschnitten, was eine Verzerrung der Querprofile zur Folge hat. Wegen dieser beiden Gründe erscheint eine Übersetzung der Horizonte in REB-Daten als nicht sinnvoll. Anstelle dessen wurden – ähnlich zur Modellierung der Rampe 3 – die Breiten- und Rampenbänder in der Software angelegt und daraus ein Deckenbuch für die Achse der Zufahrt erstellt. Dieses Deckenbuch ist wiederum eine lückenlose Beschreibung der Oberfläche der neu herzustellenden Zufahrt und kann in beliebigen Achsabständen geschnitten und für die Querprofilergenerierung herangezogen werden.

Um ein DGM aus den Horizonten der so angelegten Querprofile zu erzeugen, stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die Querprofilinien können dabei direkt über eine Funktion zu einem DGM vermascht werden, wobei die Punkte der Horizonte in dieser Methode geradlinig miteinander verbunden werden. Bei annähernd gerade verlaufenden Achsen ist diese Methode die einfachste und schnellste. Sie hat jedoch den Nachteil, dass die Daten des Kurvenbandes zwischen den angelegten Querprofilen nicht berücksichtigt werden und das DGM dementsprechend ungenau wird. Anders als die Rampe 2 verläuft die Zufahrt zur Restfläche nicht geradlinig. Würde man

die Punkte der angelegten Querprofile linear miteinander verbinden, so würden die enthaltenen Bögen abgeschnitten werden (siehe Abbildung 3.15 links). Um diesem Umstand entgegenzuwirken kann entweder der Profilabstand in diesen Bereichen verkleinert werden oder eine ähnliche Herangehensweise wie bei Rampe 3 gewählt werden. Wie oben beschrieben kann über eine Flächenberechnung nach REB-VB 21.022 ein DGM erstellt werden, welches die Daten des Kurvenbandes berücksichtigt und damit wesentlich genauer ist.

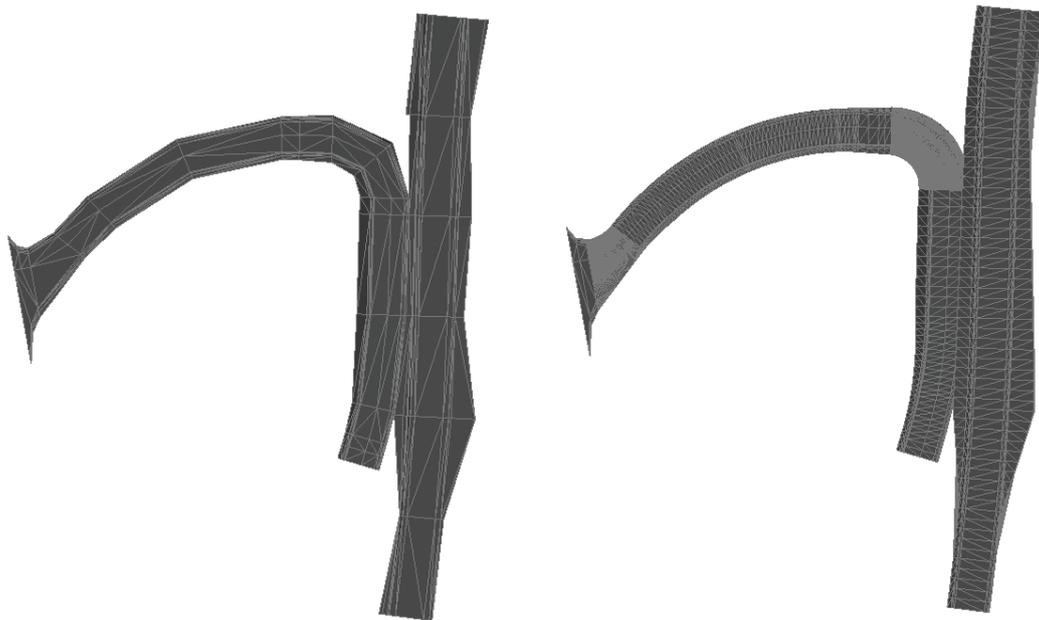


Abbildung 3.15: Vergleich der beiden Methoden zur DGM-Erstellung

Für die Modellierung der Auf- und Abtragskörper (vor allem Hinterfüllung) im Bereich zwischen den Widerlagern des Brückenbauwerks und dem Streckenmodell ist es zusätzlich notwendig die Unterkante der Deckschicht – die vom Straßenplaner erzeugt wird – zu kennen. Dieser muss also neben den oben aufgezählten Planums-DGM auch noch die Unterkante des Fahrbahnbelags als DGM liefern.

Zusammenfassend muss der Fachplaner für das Streckenmodell folgende Lieferobjekte erzeugen:

- Unterbauplanum der Rampe 3 bis km 0+185.352
- Unterseite des Fahrbahnbelags im Bereich des Brückenbauwerks
- Unterbauplanum der Rampe 3 ab km 0+231.894
- Unterbauplanum Gehweg auf Seite Marietta-Blau-Gasse (links der Stützmauer)
- Unterbauplanum der Rampe 2
- Unterbauplanum der Zufahrt zur Restfläche

Während das Unterbauplanum bei der Strecke in der Regel die Grenze des Neubaus ist, sind es bei den Ingenieurbauwerken die Grundflächen bzw. die Unterseiten der Gründungen. Für das Widerlager WL10 und den Pfeiler PF20 des Brückenbauwerks ist die Pfahlrostunterkante die Grenze des Neubaus zum Bestandsgelände. Die Pfahlgründungen werden für die Ermittlung des Baugrubenaushubs nicht berücksichtigt. Weil das Widerlager WL 30 auf der bestehenden Auflagerbank aufsetzt, ist in diesem Bereich kein Auf- oder Abtragskörper vorhanden.

Bei der Stützmauer stellt die Unterkante des Unterlagsbetons nach Regelblatt 19.01-1, S.15 der Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI) [25] die Grenze zum Neubau dar. Aufgrund der Überschneidung mit dem Streckenmodell kommt es im Bereich der Stützmauer zu einer Besonderheit. Abbildung 3.16 zeigt das Planum der Mauer (rot), welches sich unter dem Planum der Rampe 3 (rechts, orange) bzw. dem Planum des Gehweges (links, orange) befindet. Das Planum der Straße weist im Bereich der Stützmauer somit eine Lücke auf.

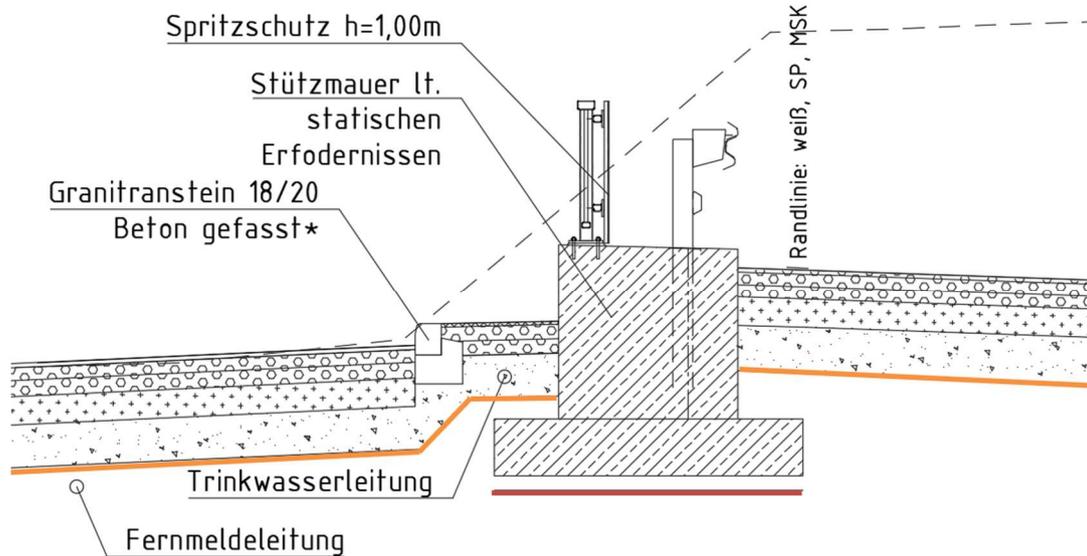


Abbildung 3.16: Schnittstelle Stützmauer

Um die Kubatur des Abtrages bzw. des Aushubes mengenmäßig richtig erfassen zu können wird das Unterbauplanum der Rampe 3 – wie in Abbildung 3.17 ersichtlich – bis zum Planum des Gehweges verlängert. Der Bereich zwischen dem neuen Planum und dem Urgelände entspricht somit dem Bodenabtrag inklusive allfälligem Oberbodenabtrag. Der Bereich zwischen der Unterkante der Sauberkeitsschicht und dem Planum der Strecke entspricht dem Baugrubenaushub für die Stützmauer M_S2.R3_L. Zuletzt ist es im Sinne der Bauausführung noch notwendig den Bereich zwischen Fundamentoberkante und Unterbauplanum der Strecke (blau) nach Herstellen der Stützmauer wieder anzuschütten (Hinterfüllung).

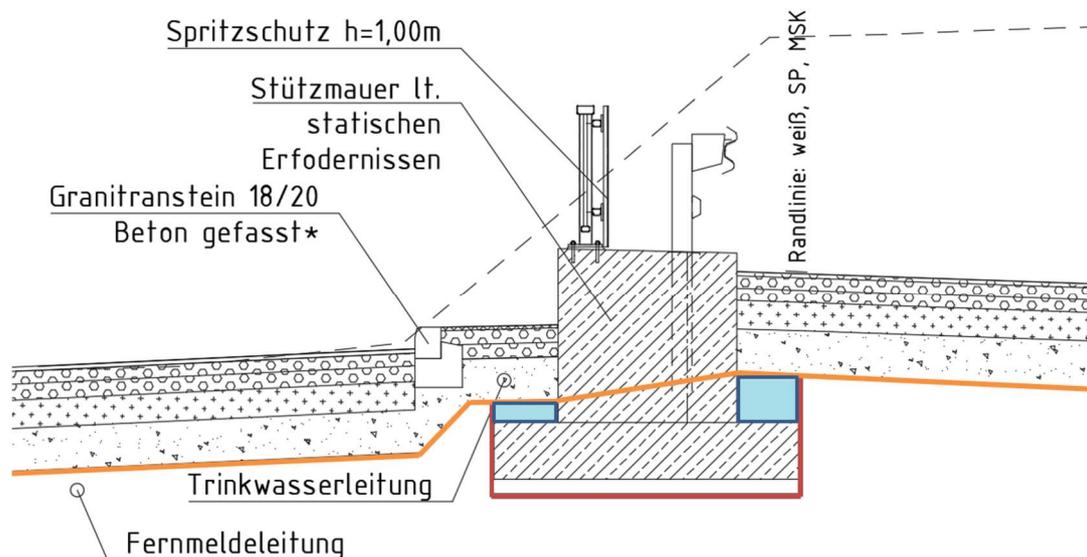


Abbildung 3.17: Abtrag und Baugrubenaushub im Bereich der Stützmauer

Zusammenfassend muss der Fachplaner für das Bauwerksmodell folgende Lieferobjekte erzeugen:

- Unterseite des Pfahlrostes und der Böschungsflügel des Widerlagers WL10
- Unterseite des Pfahlrostes des Pfeilers PF20
- Unterseite der Auflagerbank bei Widerlager WL30
- Planum der Sauberkeitsschicht der Stützmauer

Auf- und Abtragskörper

Um den Abtrag entsprechend den LV-Positionen modellieren zu können muss korrekterweise ein Bestandsmodell inklusive der Schichten aller befestigten Flächen erstellt werden. Der Abtrag gliedert sich somit in „Abtrag bituminöse Schichten und dgl.“, „Abtrag Pflasterdecken Randbegrenzung“, „Oberboden BKL1 abtragen“, „Leichter-schwerer Boden BKL3-5 abtragen“ und „Bodenaustausch BKL2-5 abtragen“. Weil für das vorliegende Projekt kein Bodenschichtenmodell erzeugt wurde, wird der Abtrag in weiterer Folge nicht in die oben aufgezählten LV-Positionen unterschieden. Die genannten Positionen werden in der Elementklasse „Bodenabtrag“ zusammengefasst. Weiters wird in den Abtrag bei Ingenieurbauwerken, welcher als „Baugrubenaushub“ bezeichnet wird, und in den Aushub von Künetten für die Straßenentwässerung, welcher als „Grabenaushub“ bezeichnet wird, unterschieden. Für den Auftrag wurden die Elementklassen Grabenauffüllung, Hinterfüllung, Dammkörper und Bodenverbesserung nach Abbildung 3.18 unterschieden. Die Bodenverbesserung wurde in der Modellierung nicht berücksichtigt.

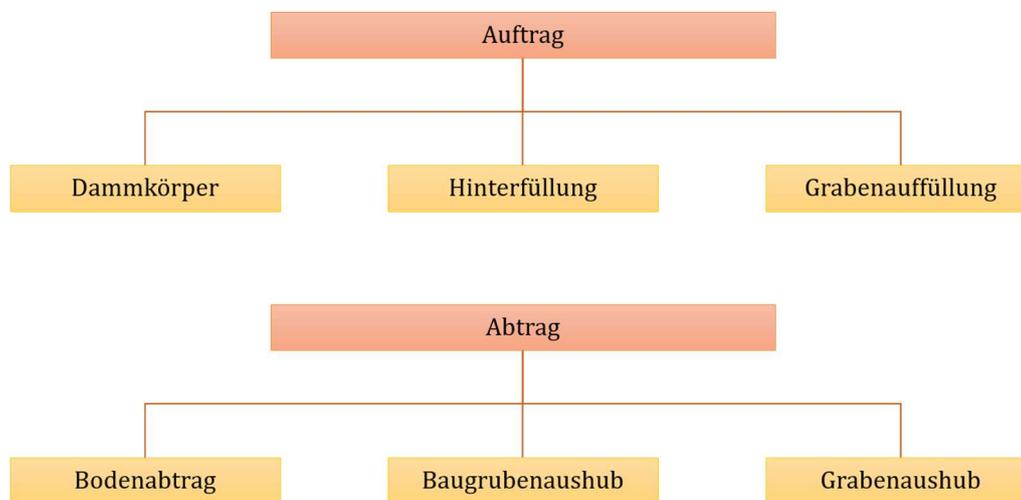


Abbildung 3.18: Modellstrukturplan für die Teilmodelle Auftrag und Abtrag

Als Basis für das Erdbaumodell dient das, vom Fachplaner für das Geländemodell erstellte Ur-gelände-DGM. Das Erdbaumodell wird auf das Baufeld um die Rampe 3 begrenzt. Dazu wurde ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 180 m als Begrenzung gewählt. Gleichzeitig schneidet diese äußere Begrenzung die Achse der Rampe 2 an Station +100.000 (normal auf Achse). Die Auf- und Abtragskörper können entweder vom Straßenplaner oder von einem eigenen Fachplaner erzeugt werden.

Wird das Erdbaumodell etwa vom Straßenplaner in einer Trassierungssoftware erzeugt so muss der Fachplaner für die Ingenieurbauwerke die DGM mit den Grenzen des Neubaus an den Straßenplaner übergeben. Dieser kann diese DGM dann entlang der Trassierungsachse in seinen

Querprofilen schneiden und die Abtrags- und Auftragskörper wie für den Oberbau als Volumenkörper modellieren. Mit dieser Methode sind jedoch einige Nachteile verbunden. Zuerst wird durch das Schneiden des DGM in den Querprofilen nur eine Momentaufnahme des DGM erstellt. Informationen wie zum Beispiel Bruchkanten oder Sprünge im DGM, die zwischen zwei Querprofilen auftreten, werden somit nicht erfasst, da die Trassierungssoftware lediglich die zwei Querschnittsflächen in den Querprofilen miteinander verbindet. Diese Methode besitzt nur für regelmäßig verlaufende Querschnitte des Oberbaus (z.B. Deckschicht, Tragschicht, Leistenstein etc.) eine ausreichende Genauigkeit. Ein weiteres Problem liegt in der Modellierung von Erdkörpern, die nicht entlang der Trassierungsachse verlaufen. In diesem Projekt verläuft die Stützmauer und damit der Baugrubenaushub parallel zur Trassierungsachse. Gibt es jedoch Erdmengen (wie z.B. Auffüllungen im Kleeblatt einer Anschlussstelle) die in größerer Entfernung oder gar komplett unabhängig von der Achse ermittelt werden sollen, so ist diese Methode ungeeignet.

Die weitaus geeignetere Vorgehensweise zur Modellierung von Erdkörpern besteht in der Bearbeitung in einer eigens dafür konzipierten Softwarelösung. Zwar können einige Trassierungssoftware-Produkte einfache DGM-Operationen durchführen, für komplexe Probleme empfiehlt sich jedoch die Nutzung von den dafür konzipierten Software-Produkten (z.B. Autodesk Civil 3D). Bei dieser Methode empfiehlt sich die Beauftragung eines eigenen Fachplaners. Dieser erhält die Informationen zu den Grenzen zum Neubau von den Fachplanern für die Ingenieurbauwerke und die Straße in Form von digitalen Geländemodellen. Durch verschneiden dieser DGM können Volumenkörper für den Auf- und Abtrag erstellt werden. Abbildung 3.19 zeigt ein auf diese Weise erzeugte Erdbaumodell. Während die Elementklassen Bodenabtrag, Baugrubenaushub und Grabenaushub in Rot dargestellt sind, sind die Auftragskörper in Grün abgebildet. Die Berechnungsmethoden zur normgerechten Bestimmung der Mengen dieser Erdkörper sind in Abschnitt 3.7.1 erläutert.

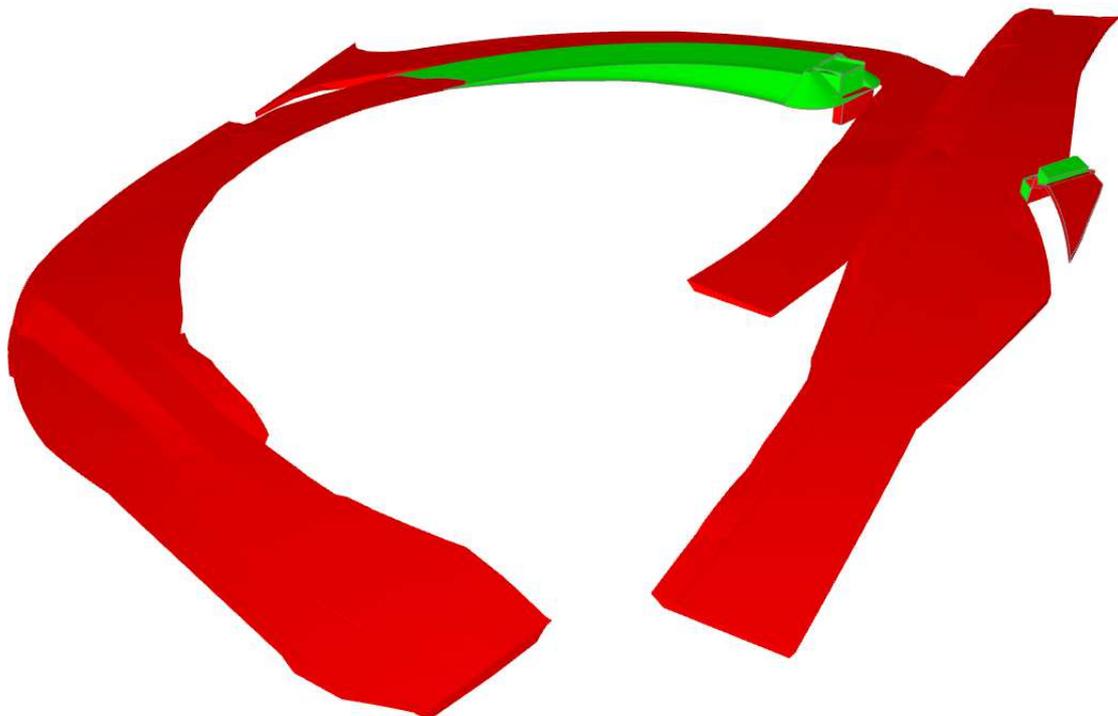


Abbildung 3.19: Erdbaumodell

3.3.3 Streckenmodell

Das Streckenmodell setzt sich aus den Teilmodellen Straßenoberbau, Straßenentwässerung und Straßenausstattung zusammen. Jedes dieser Teilmodelle kann in der Praxis in unterschiedlichen Softwarelösungen von unterschiedlichen BIM-Modellern oder gegebenenfalls in einer einzigen Softwarelösung und damit von einem einzigen BIM-Modeller erstellt werden. Im vorliegenden Projekt wurde der Straßenoberbau in der BIM-fähigen Trassierungssoftware RIB iTWO Civil, die Straßenentwässerung mit dem Kanalmodellierungstool von RIB iTWO Civil und die Straßenausstattung in Autodesk Civil 3D modelliert. Aus der konventionellen Planung liegen ein Lageplan, Längsschnitte, Krümmungsbänder, Querneigungsbänder, Regelquerschnitte und Querprofilpläne in Form von CAD-Daten vor. Zusätzlich liegt ein Deckenbuch, in dem die Koordinaten der Punkte der obersten Deckschicht je Querprofilstation festgehalten sind, im Portable Document Format (PDF) vor. In der konventionellen Ausschreibungsplanung wurde mit einem Querprofilabstand von 25,0 m trassiert. Für die Strecke liegen demnach die folgenden Stationen nach Tabelle 3.2 vor.

Tabelle 3.2: Stationstabelle aus der konventionellen Planung

Querprofil	Station
R3_-1	0-010.000
R3_1	0+000.000
R3_2	0+025.000
R3_3	0+050.000
R3_4	0+075.000
R3_5	0+100.000
R3_6	0+125.000
R3_7	0+150.000
R3_8	0+175.000
R3_9	0+200.000
R3_10	0+225.000

Straßenoberbau

Weil sich die Planungsdaten auf 2D-CAD-Zeichnungen beschränken und keine Übergabedatenformate, wie in Abschnitt 2.6 beschrieben, zur Verfügung stehen, ist ein Großteil der Trassendaten neu zu generieren. Um die zuvor beschriebenen 2D-Plandaten in ein 3D-Modell zu übersetzen und die Mengenermittlung nach Norm durchzuführen, ergeben sich mehrere Möglichkeiten. Zuerst ist die Achse mit der zugehörigen Gradienten aufzusetzen. Die Achse ist im Lageplan der konventionellen Planung in Form eines 2D-Linienzuges enthalten, wobei die Übergangsbögen durch Kreisbögen unterschiedlicher Radien angenähert sind.⁵ Für das Aufsetzen der Achse in der Trassierungssoftware RIB iTWO Civil kann die CAD-Datei mit der Achse eingelesen und die 2D-Polylinie in eine Achse konvertiert werden. Dies würde allerdings zu einer Verfälschung der Daten führen, da die Länge der Achse dadurch verändert wird und sich somit jene Stationen verschieben, anhand derer die Gradienten verknüpft wird.⁶ Aus diesem Grund wurde eine andere Vorgehensweise gewählt.

Ist die Lage und die Richtung eines Elementes der Achse bekannt, so kann diese ausgehend von diesem Element über das Krümmungsband, welches Radien, Längen und Klothoidenparameter

⁵ Das .dwg Format unterstützt keine Klothoiden.

⁶ Ist ein geringer LOG gefordert stellt diese Vorgehensweise jedoch durchaus eine Option dar.

enthält, rekonstruiert werden. Weil die Gerade am einfachsten definiert ist – durch Anfangskordinaten (RW, HW) und Anfangsrichtung – wurde ein Geradenstück am Anfang der Achse gewählt und in die Software importiert. Ausgehend von diesem lagemäßig richtig verorteten Startpunkt wurden die weiteren Elemente der Achse unter Zuhilfenahme des Krümmungsbandes Schritt für Schritt an die Gerade angehängt.

Die weitaus genaueste und einfachste Methode stellt das Übernehmen der geschriebenen Achsdaten aus einem Koordinatenverzeichnis des Planers dar. Dieser plant eine Trasse üblicherweise in einer Trassierungssoftware und hat damit die Möglichkeit die Achse in einem dafür geschaffenen Format, wie in Abschnitt 2.6.7 beschrieben, auszugeben. Gleiches gilt für die Gradiente. Diese kann vom Planer im dafür geschaffenen Format exportiert werden und beinhaltet Informationen zu Höhen, Stationen und Ausrundungsradien (Wanne und Kuppe) der Tangentenschnittpunkte. Für das vorliegende Projekt wurden die Informationen zu den Tangentenschnittpunkten manuell aus dem Längsschnitt der konventionellen Planung abgelesen und in die Software eingegeben. Verknüpft man die Achse im Grundriss mit der zugehörigen Gradiente, so liegt eine vollständige räumliche Beschreibung der Achse vor.

Noch bevor mit der Bearbeitung der Querprofile begonnen werden kann ist es erforderlich eine neue Stationstabelle zu definieren, da es für die – in den Abschnitten 2.5 und 3.7 erläuterte – Mengenermittlung notwendig ist die Stationen entlang der Achse so zu definieren, dass alle Änderungen der Randbedingungen erfasst werden. Solche Veränderungen im Querschnitt können beispielsweise Sprünge und Knicke in der Breite, Querneigungsänderungen (Verwindungsanfang, Verwindungsende) oder Aufbautenänderungen sein. Diese können mit dem aus der konventionellen Planung kommenden regelmäßigen Profilabstand von 25 m nicht abgedeckt werden. Zur Veranschaulichung der erforderlichen Anzahl an Querprofilen ist die Stationstabelle der Rampe 3 nach Einarbeitung aller Querschnittsprünge und zusätzlicher Stationen für die Erhöhung der Genauigkeit der Mengenberechnung in Tabelle 3.3 dargestellt.

Tabelle 3.3: Stationstabelle nach Einarbeitung aller Randbedingungen

Station	Randbedingung
0-010.000	R3_-1
0-009.342	Breite
0-001.000	Breite
0-000.587	Querneigung
0+000.000	R3_1
0+000.749	Verkehrsinself
0+003.982	Querneigung
0+005.000	Zusätzliche regelmäßige Stationen
0+010.000	Breite
0+025.000	R3_2
0+034.191	Querneigung
0+045.999	Stützmauer
0+046.000	Stützmauer
0+050.000	R3_3
0+054.191	Querneigung
0+075.000	R3_4
0+084.540	Gehweg Marietta Blau Gasse
0+092.500	Zusätzliche regelmäßige Stationen

0+100.000	R3_5
0+100.122	Stützmauer
0+112.500	Zusätzliche regelmäßige Stationen
0+125.000	R3_6
0+137.500	Zusätzliche regelmäßige Stationen
0+150.000	R3_7
0+162.500	Zusätzliche regelmäßige Stationen
0+175.000	R3_8
0+182.704	Ende Entwässerungsstrang
0+185.352	Schnittstelle BBW
0+200.000	R3_9
0+218.191	Querneigung
0+225.000	R3_10
0+231.894	Schnittstelle BBW
0+231.895	Schnittstelle BBW
0+235.466	Schnittstelle BBW
0+236.273	Anschluss A23
0+243.499	Querneigung
0+254.624	Anschluss A23

Für die Erstellung der Querprofile besteht analog zur Achse und der Gradienten die Möglichkeit die bereits vom Planer aufbereiteten Querprofile aus der konventionellen Planung in Form von Daten des REB-Datenformates 66 lt. Abschnitt 2.6.7 zu übergeben. Im konkreten Projekt liegen die Querprofile jedoch in Form einer CAD-Datei vor. Es besteht die Möglichkeit die CAD-Dateien in die DA66 zu übersetzen. Hierbei werden die Koordinaten der Punkte eines jeden Horizontes in Autodesk Civil 3D automatisiert ausgelesen und in einer Excel-Datei in Daten der Art 66 konvertiert. Diese Datei kann dann zum Import in die Trassierungssoftware herangezogen werden. Das REB-Datenformat 66 weist aber auch Schwächen auf. Die Koordinaten und Höhen können nur mit drei Nachkommastellen übergeben werden, was zur Folge hat, dass bei berechneten Schnittpunkten die Genauigkeit verloren geht. Weiters müssen die Linien in der CAD-Datei durchgängig sein und dürfen keine Rücksprünge aufweisen, da die Punkte sonst falsch verbunden werden. Neben der Übersetzung der CAD-Dateien in die DA66 besteht die Möglichkeit das vom Planer generierte Deckenbuch in die Software zu übernehmen. Darin ist die oberste Schicht der Fahrbahn in ihrer Breite und mit ihrem Quergefälle definiert. Bei dieser Methode sind die Koordinaten und Höhen ebenfalls auf drei Nachkommastellen begrenzt.

Weil das vorliegende Deckenbuch und die Horizonte aus den CAD-Dateien einerseits nicht die erforderliche Genauigkeit aufweisen und vor allem nur in den regelmäßigen Stationen laut Tabelle 3.2 zur Verfügung stehen, wurden diese nur im Sinne einer optischen Kontrolle und einer Überprüfung der konventionellen Planung eingelesen. Als sinnvolle Lösung erscheint das Arbeiten mit einem Regelquerschnitt sowie Breiten- und Querneigungsbändern. Dazu werden aus dem Lageplan Breitenbänder, die den Abstand zur Achse definieren, und aus dem Längsschnitt Querneigungsbänder, die das Quergefälle an der jeweiligen Station definieren, erzeugt. Mit Hilfe dieser Informationen lässt sich ein neues stationsunabhängiges Deckenbuch definieren. Mit diesem kann die Deckschicht an jeder beliebigen Station geschnitten und ein Querprofilprojekt angelegt werden. Auf Basis dieser Deckschicht können die weiteren Querprofilhorizonte erzeugt

und anschließend die Querschnittsflächen bzw. die Strecken für die Mengenermittlung nach Abschnitt 3.7.2 definiert werden.

Die Flächen sind ihrerseits durch die erzeugten Begrenzungslinien oben, unten, links und rechts begrenzt. Eine Fläche kann – wie in Abbildung 3.20 ersichtlich – maximal von 6 Begrenzungslinien umschlossen werden. [19]

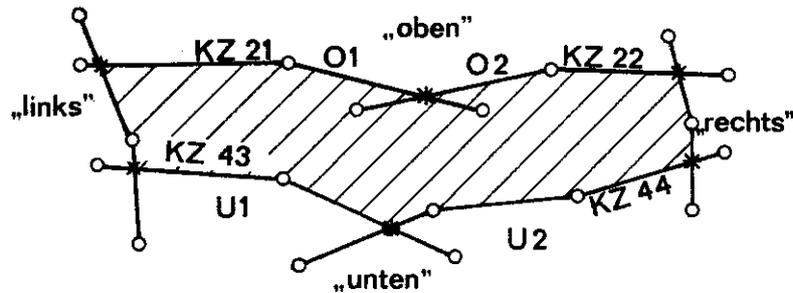


Abbildung 3.20: Begrenzungslinien und Querschnittsfläche (Quelle: REB-VB 21.013 [19], S.9)

Um die Volumenkörper und Oberflächen später mit Positionen aus dem LV verknüpfen zu können, wird den Querschnittsflächen und den Horizonten eine entsprechende Fachbedeutung zugeordnet. Die einzelnen Schichten des Aufbaus der Rampe 3 sind im Technischem Bericht [6] folgendermaßen definiert:

- SMA 11 deck PmB 45/ 80-75, S2, GS, KA 18
- AC22 bin PmB 45/ 80-75, H1, G4
- AC22 bin PmB 45/ 80-75, H1, G4
- ungeb. obere TS, U1, 0/ 45
- ungeb. untere TS, U6, 0/ 63

Zu den im Technischen Bericht angeführten Schichten kommen noch die Positionen aus dem Regelquerschnitt der konventionellen Planung hinzu:

- Schüttmaterial verdichtbar (Dammkörper ohne Bodenauswechslung)
- AC4 deck, 70/ 100, A1, G3
- AC16 trag, 70/ 100, T2, G6
- ungeb. obere TS, U3, 0/ 32
- ungeb. Untere TS, U7, 0/ 63
- Granitrandstein 18/ 20
- Unterlagsbeton C25/ 30/ B7 Randbegrenzung mit Schalung
- Auffüllung mit Schottermaterial 16/ 32 (Bankett)
- Unterbauplanum
- Dammaufstandsfläche

Abbildung 3.21 und 3.22 zeigen Ausschnitte aus dem Querprofilprojekt in RIB iTWO civil. Während die erste Station unter dem Urgelände (olivgrüner Horizont) und damit im Einschnittbereich liegt, befindet sich die zweite Station im Dammbereich. In Abbildung 3.21 ist ersichtlich, dass der Dammkörper (hellgrün) zusätzlich zu der Modellierung aus Abschnitt 3.3.2 mit der Trassierungssoftware generiert wurde.

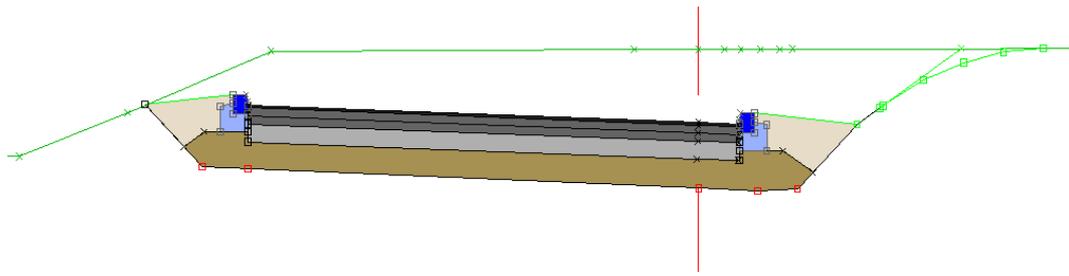


Abbildung 3.21: Beispiel für die Querschnittsflächen im Einschnittbereich

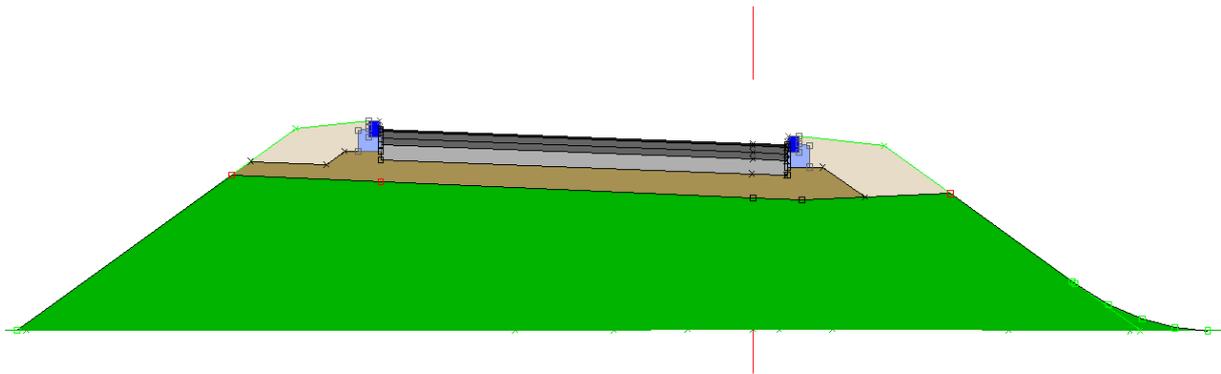


Abbildung 3.22: Beispiel für die Querschnittsflächen im Dammbereich

Neben der Modellierung der Schichten des Streckenmodells liegt die Modellierung des Fahrbahnbelags des Brückenbauwerks im Verantwortungsbereich des Straßenplaners. Dieser setzt sich, wie der Regelquerschnitt des Brückenbauwerks zeigt, aus folgenden Schichten zusammen:

- SMA11deck PmB45/ 80-75, S2, GS, 3cm Fahr/ Abst
- AC22bin PmB45/ 80-75, H1, G4, 6cm Fahr/ Abst
- AC11deck PmB45/ 80-75, A2, G1, 3cm Fahr/ Abst
- Bituminöse Abdichtung 1 cm

Für die Modellierung wurden die vier Schichten in einer einzigen 13 cm starken Schicht mit der Fachbedeutung „Fahrbahnbelag Brücke“ zusammengefasst. Die erforderlichen Teilmengen können auf Grund der regelmäßigen Geometrie aus dem Volumen und der Stärke der Gesamtposition errechnet werden.

Analog zum Dammkörper ist es möglich den Abtrag vom Urgelände zum künftigen Planum darzustellen. Dabei ist jedoch festzuhalten, dass die Volumenkörper durch lineares verbinden von zwei Querprofilen, welche nur eine Momentaufnahme des Urgeländes darstellen, gebildet werden. Die Genauigkeit dieser Methode hängt daher vom gewählten Stationsabstand ab und wurde deshalb nur als Kontrolle der Mengenermittlung nach Abschnitt 3.3.2 durchgeführt. Diese Vorgehensweise ist jedoch sehr gut für die Modellierung des Grabenaushubs und der Grabenauffüllung der Straßenentwässerung geeignet, da diese nicht vom unregelmäßig verlaufenden Urgelände abhängt, sondern vom regelmäßig verlaufenden Unterbauplanum.

Aus den im Querprofilprojekt definierten Querprofilflächen können in RIB iTWOcivil unter Berücksichtigung der Achsdaten anschließend „echte“ 3D-Volumenkörper und 3D-Oberflächen generiert werden. Dieses dreidimensionale Abbild des Straßenbauwerks wird auch als Trassenkörper bezeichnet und ist erforderlich, um die Daten in RIB iTWO integrieren zu können. Als Übergabeformat wird das CPI Format „cpixml“ verwendet. [36]

Straßenentwässerung

Die allgemeinen Angaben zur Entwässerung sind in Abschnitt 3.1.3 aufgelistet. Das Teilmodell Straßenentwässerung ist in die Elementklassen Rinne, Schacht und Rohrleitung nach Abbildung 3.23 unterteilt.

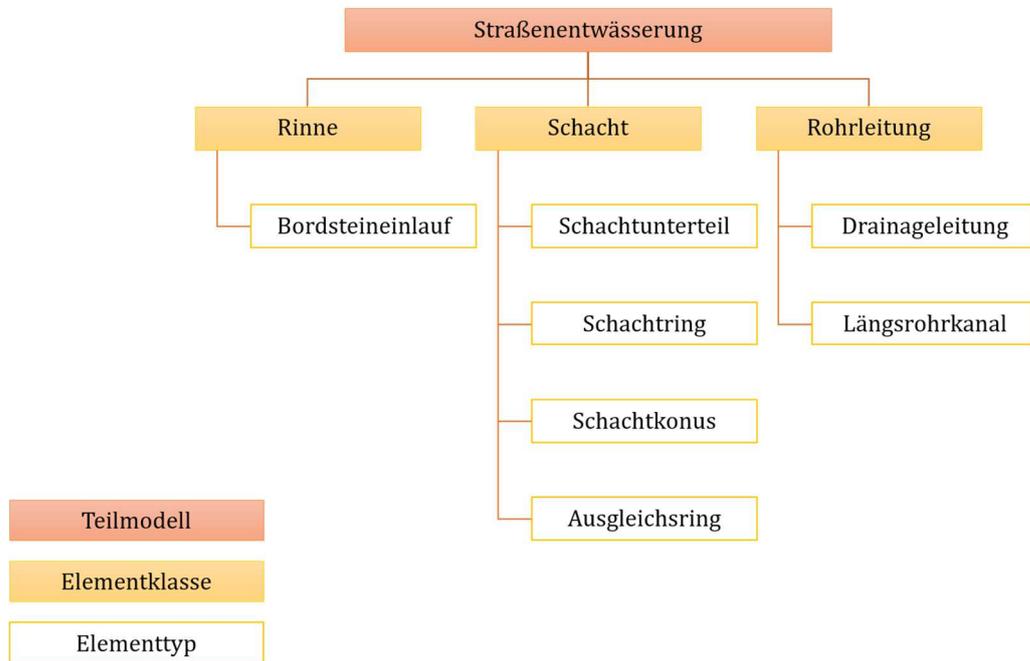


Abbildung 3.23: Modellstrukturplan für das Teilmodell Straßenentwässerung

Für die Modellierung der Straßenentwässerung wurde das Kanalmodellierungstool von RIB iTWO Civil verwendet. Dieses Tool ermöglicht das Generieren von Infrastrukturelementen wie Kanalnetzen, Wasserleitungsnetzen, Sachpunkten, Sachlinien und Sachflächen. Die erzeugten Daten werden dabei in einer relationalen Datenbank abgelegt. [37]

Weil die Entwässerungsachse parallel zur Straßenachse (also ebenfalls gekrümmt) verläuft, wurden die Rohr- und Drainageleitungen ebenfalls gekrümmt modelliert. In der Realität werden diese im Regelfall aus Geradenstücke zusammengesetzt, die Abrechnung erfolgt jedoch über die Bogenlänge. Gleiches gilt für den Grabenaushub und die Grabenauffüllung, welche analog zu den Leitungen in RIB iTWO Civil modelliert wurden. Der Aushub und die Auffüllung wurden – wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben – dem Erdbaumodell zugeordnet. Weil es im Kanalmodellierungstool nicht möglich ist, zwei gekrümmte Leitungen im Huckepacksystem zu modellieren wurde die Drainageleitung in Autodesk Civil 3D generiert. Die Übergabe der Brückenabwässer erfolgt bei Schacht S03Z-00-02. Um ein durchgängiges Entwässerungssystem im Modell abzubilden wurde der Entwässerungsstrang der Zufahrt zur Restfläche zusätzlich zur Entwässerung der Rampe 3 modelliert.

Straßenausstattung

Das Teilmodell Straßenausstattung ist, wie in Abbildung 3.24 ersichtlich, in die Elementklassen Bodenmarkierung, Rückhaltesystem, Verkehrszeichen und Beleuchtung gegliedert.

Das Fahrzeugrückhaltesystem und die Beleuchtung wurden in Autodesk Civil 3D modelliert. Für die Beleuchtung wurden die 3D-Volumenkörper für Fundament und Beleuchtungskörper erzeugt und zu Blöcken zusammengeführt. Ist die genaue Position bekannt so können die Blöcke auf die Höhe eines DGM oder einer Fläche gehoben werden. Im konkreten Fall ist es notwendig das

Bankett aus dem Streckenmodell als DGM auszugeben. Weiters ist es möglich Blöcke entlang einer Polylinie in einem vorher definierten Abstand zu platzieren. Diese Funktion wurde für die Steher der Rückhaltesysteme angewandt. Nach anschließendem Heben der Pfosten auf die Höhe des Banketts wurden die Leitschienen und der Unterfahrerschutz für das Fahrzeugrückhaltesystem entlang von vorher definierten 3D-Polylinien gesweept. Letztere wurden durch Projektion der Linien im Lageplan auf das DGM und anschließenden 3D-Versatz erzeugt. Während die Bodenmarkierungen wegen ihrem Achsbezug in RIB iTWO civil generiert wurden, wurden die Verkehrszeichen in Autodesk Civil 3D erzeugt. Abbildung 3.25 zeigt die zum Fachmodell „Streckenmodell“ zusammengeführten Teilmodelle Straßenoberbau, Straßenentwässerung und Straßenausstattung in der verwendeten Koordinationssoftware Desite MD Pro.

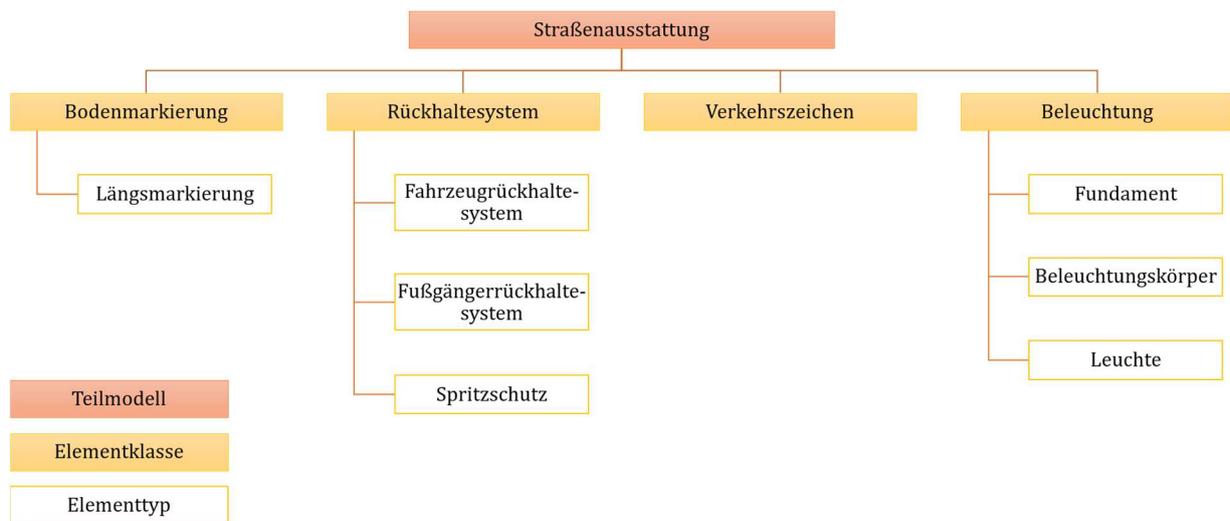


Abbildung 3.24: Modellstrukturplan für das Teilmodell Straßenausstattung

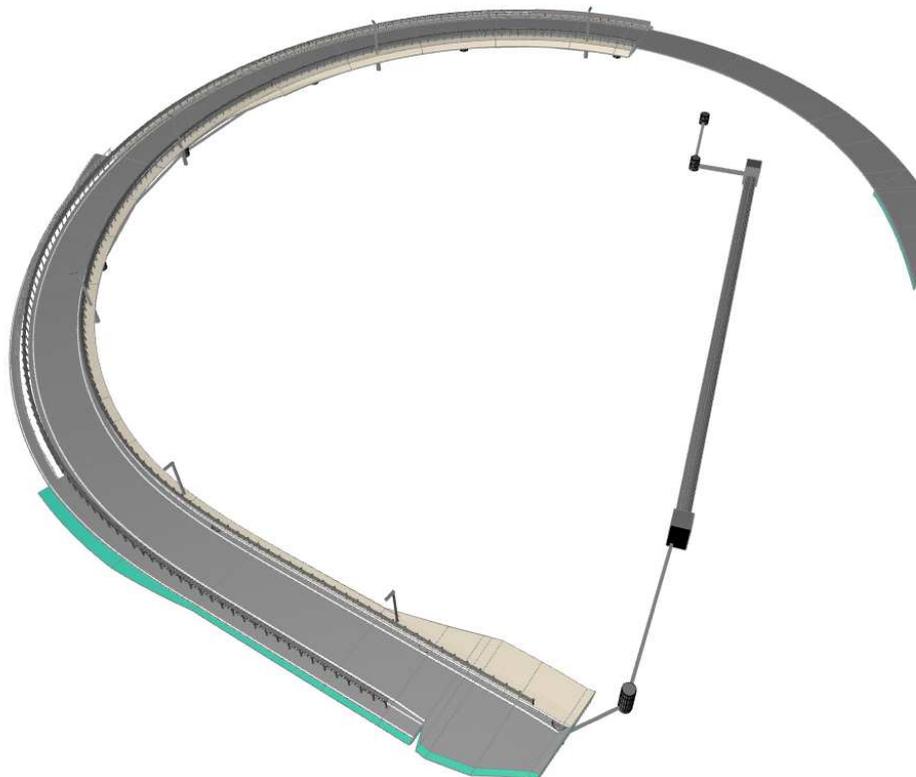


Abbildung 3.25: Streckenmodell

3.3.4 Bauwerksmodell (Ingenieurbauwerke)

Das Bauwerksmodell beinhaltet die Stützmauer M_S2.R3_L und das Brückenbauwerk B_S2.R3. Es ist in die Teilmodelle Brückenbauwerk, Brückenentwässerung, Brückenausstattung und Stützmauer unterteilt. Die Ausstattung der Stützmauer ist im Teilmodell Straßenausstattung des Fachmodells Streckenmodell enthalten.

Brückenbauwerk

Beim vorliegenden Brückenobjekt B_S2.R3 handelt es sich um eine 2-feldrige Rahmenkonstruktion. Die beiden Widerlager und der Pfeiler bilden dabei die Rahmenstiele und sind biegesteif mit dem Tragwerk – welches dem Rahmenriegel entspricht – verbunden. Die Stützweiten betragen 22,6 m bzw. 18,1 m in der Tragwerksachse. [5]

Die gewählte Modellstruktur für das Brückenbauwerk ist in Abbildung 3.26 dargestellt.

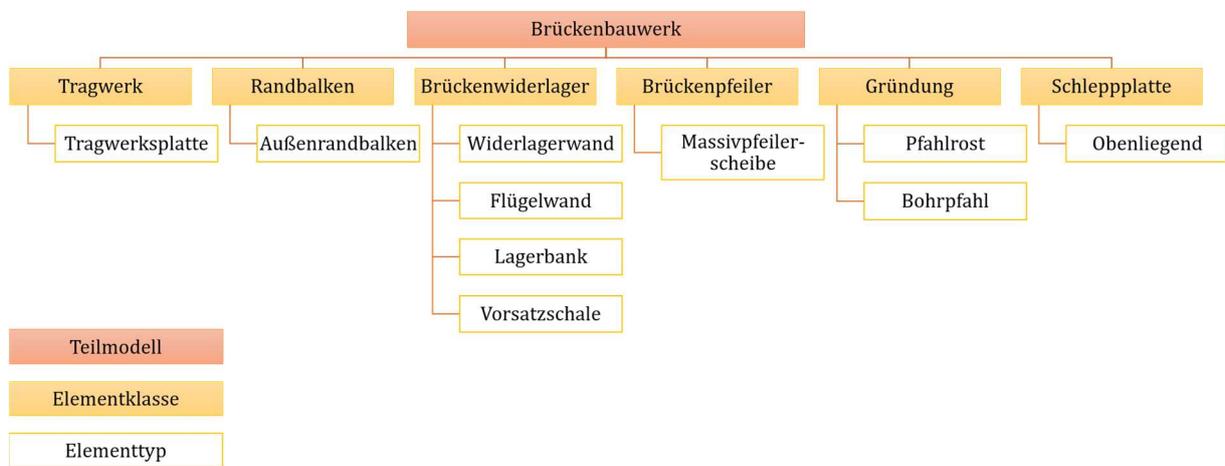


Abbildung 3.26: Modellstrukturplan für das Teilmodell Brückenbauwerk

Das Brückenbauwerk (BBW) erstreckt sich vom ersten Widerlager – „WL Nord“ bei km 0+190.848 über einen Pfeiler bei km 0+210.104 bis hin zum zweiten Widerlager – „WL Süd“ bei km 0+231.126. Dabei wird im ersten Feld die Zufahrt zur Restfläche der Rampe 3 und im zweiten Feld die Rampe 2 überquert. Die angegebenen Stationen beziehen sich auf die Straßenachse. Die Tragwerksachse verläuft 2,5 m parallel zur Straßenachse und befindet sich in der Mitte des Brückenbauwerks. Weil keine Gradienten für die Tragwerksachse vorliegt wurde diese nicht berücksichtigt. Die beiden Randbalken „RDB Ost“ und „RDB West“ werden über das Brückentragwerk hinaus verlängert. Ihre Anfangs- und Endstationen sowie die Widerlager und deren Verdrehung gegenüber der Achse sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Für Ingenieurbauwerke ist die Softwarewahl oft nicht eindeutig. Während das Tragwerk und die Randbalken einen Bezug zur Achse haben, sind die Widerlager und Pfeiler oft sehr unregelmäßig in ihrer Geometrie und weisen keinen Bezug zur Achse auf. Aus diesem Grund wurde für die vollständige Modellierung des Teilmodells Brückenbauwerk auf mehrere Softwarelösungen zurückgegriffen.

Tabelle 3.4: Stationstabelle Brückenbauwerk

Station	Typ	Drehung
0+185.352	Schnittstelle BBW	-
0+185.352	RDB Ost Anfang	-
0+186.094	RDB West Anfang	-
0+190.195	Überstand am Anfang	-
0+190.848	WL Nord – WL10	-
0+210.104	Pfeiler – PF20	40,715°
0+231.126	WL Süd – WL30	32,233°
0+231.894	Überstand am Ende	32,69°
0+231.894	RDB West Ende	-
0+255.122	RDB Ost Ende	-

Die Elementklassen „Tragwerk“ und „Randbalken“ wurden wegen ihrem Achsbezug mit dem Sofistik Bridge-Modeller in Autodesk Revit erzeugt. Für die Tragwerksplatte wird dabei eine Breite von 5,00 m und eine Dicke von 1,20 m vorgesehen. Die 1,50 m langen Kragarme werden mit einer Stärke von 40 cm ausgeführt und verjüngen sich zum Tragwerksrand auf 25 cm, wo der Randbalken mittels Dübelleisten angebracht wird. Mit dem Sofistik Bridge Modeller ist es möglich, Achsen in die Autodesk Revit-Umgebung zu importieren und Familien entlang dieser Achsen zu sweepen. Eine Achse kann entweder direkt im Bridge Modeller manuell erzeugt oder in den Formaten LandXML, JSON, CDB oder CSV/ TXT/ XYZ importiert werden. Weil die Achse inklusive ihrer Gradienten über die gesamte Länge der Trasse in der Regel bereits vom Streckenplaner aufgesetzt wurde, erscheint ein Import im LandXML-Format als sinnvolle Lösung. Neben den Trassierungsparametern einer Achse im Grundriss und ihrer vertikalen Lage können Stationen (=Placements) und stationsweise Variablen für z.B. Querneigung oder Achsversatz definiert werden. Für die Definition der Querschnitte stellt Sofistik vorgefertigte Familien für den Über- und Unterbau, Randbalken und Geländer zur Verfügung. Die Familien können über die Eingabe von Parametern gesteuert werden (= Parametrische Modellierung), wobei für diese entweder feste Werte oder die oben beschriebenen Variablen eingesetzt werden können. Die Familien für den Überbauquerschnitt beziehen sich in Sofistik immer auf die Tragwerksachse. Durch die Eingabe eines stationsweisen Breiten- und Höhenversatzes (aus der Querneigung) ist es möglich die Querschnitte auf die Straßenachse zu beziehen. Abbildung 3.27 zeigt den Brückenüberbau, der aus der Tragwerksplatte und den beiden Außenrandbalken zusammensetzt.

Aufgrund ihrer unregelmäßigen Geometrie wurden die restlichen Elementklassen in Autodesk Civil 3D modelliert. Für einfache Widerlager und Pfeiler stehen im Sofistik Bridge Modeller zwar vorgefertigte Familien zur Verfügung, diese werden jedoch den Anforderungen aus der konventionellen Planung nicht gerecht.

Für die Modellierung der Widerlager sowie des Pfeilers wurden die Absteckpunkte aus den Schalplänen der konventionellen Planung herangezogen und die Volumenkörper durch Extrusion, Sweep, Abzugskörper etc. generiert. Mittels einer Kollisionsprüfung nach Abschnitt 3.5 zwischen Widerlager und Plattenbalken (Oberseite Auflager und Unterseite Plattenbalken) wird die konventionelle Planung einem zusätzlichen Prüflauf unterzogen.



Abbildung 3.27: Brückenüberbau

Am Beginn des Brückenbauwerks befindet sich eine 50 cm starke und 5 m lange Schleppplatte, die im Bogen verläuft und parallel zum WL Nord (nicht normal auf Achse) steht. Die darunter befindlichen Schichten (Sauberkeitsschicht, Filterbeton 40 cm mit Vlies, Füllbeton, Füllbeton unter Flügel) wurden nicht modelliert. Die Position „Hinterfüllung mit gut verdichtbaren Kiesen“ ist dem Teilmodell „Auftrag“ des Erdbaumodells zugeordnet.

Für das Widerlager Nord wurden die Bohrpfähle, der Pfahlrost, die Widerlagerwand und die Flügelwände modelliert (siehe Abbildung 3.28). Vor allem letztere weisen eine komplizierte Geometrie auf (Krümmung im Grundriss und im Längsschnitt sowie eine Querneigung im Querschnitt) und sind in Autodesk Revit nur sehr umständlich bis gar nicht modellierbar. Das neue Widerlager WL 10 wird mittels fünf Bohrpfähle fundiert. Die Länge der Pfähle beträgt 12 m und die Pfahloberkante kommt auf 156,00 m ü.A. zu liegen. Während der 1,50 m hohe Pfahlrost mit einer Dicke von 1,50 m ausgeführt ist, wird die Widerlagerwand mit einer Dicke von 1,30 m hergestellt.

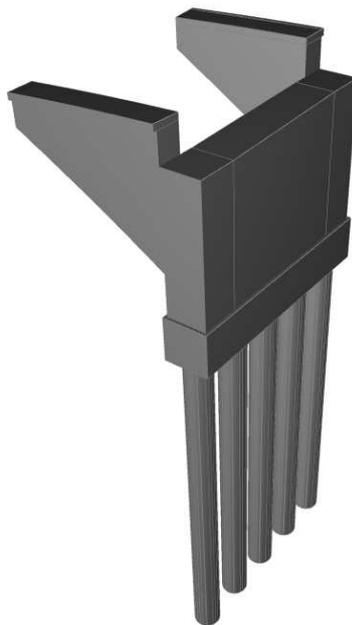


Abbildung 3.28: Widerlager Nord – WL10

Das Mittelaufleger (Pfeiler PF20) ist in Abbildung 3.29 dargestellt. Für die Fundierung des Pfeilers wurden 3 Bohrpfähle mit einer Länge von 14 m gewählt. Die Pfahloberkante bzw. Pfahlrostunterkante liegt auf 156,00 m ü.A.. Der Pfahlrost ist 1,50 m hoch und 1,30 m breit. Die Pfeilerscheibe wird mit einer Stärke von 1,10 m etwas schlanker als die Widerlagerwand des WL10 ausgeführt. Der Pfeiler ist zwischen der Zufahrt zur Restfläche der Rampe 3 und der Rampe 2 situiert. Weil die Pfahlgründung sehr nahe am bestehenden Wien Kanal zu liegen kommt ist diese allenfalls zu modellieren (siehe Abschnitt 3.3.5).

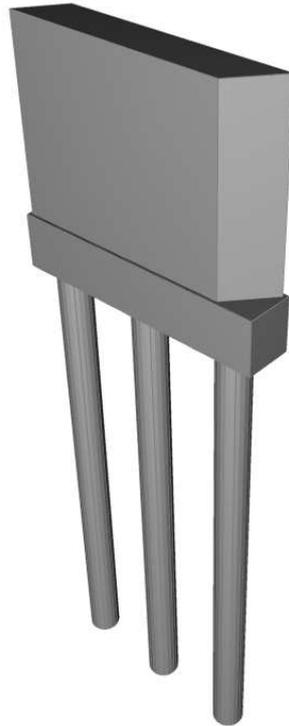


Abbildung 3.29: Pfeiler PF20

Das Widerlager Süd auf Seiten der A23 wurde bereits im Zuge einer vorangegangenen Sanierung bis auf eine Höhe von 162,52 m ü.A. hergestellt. Es wurde auf 9 Bohrpfählen mit einem Durchmesser von 90 cm und einer Länge von 14,00 m gegründet. Diese Bohrpfähle sind also streng genommen Teil des Bestandmodells, wurden aber aus Gründen der Übersichtlichkeit in das Neubaumodell aufgenommen. Im Zuge der Baumaßnahmen des Brückenbauwerks wird nach der Absenkung der Rampe 2 eine 20 cm starke Beton-Vorsatzschale sowie eine U-förmige Auflagerbank nach Abbildung 3.30 hergestellt. Die Auffüllung zwischen dem WL30 und dem anstehenden Gelände erfolgt durch das Auslegen einer Vlies-Matte und anschließendem Verfüllen mit Filterbeton. Die Auffüllung wurde bei der Modellierung an das Urgelände angepasst und nicht mit den Abmessungen aus dem Längsschnitt modelliert. Sie wurde analog zur Hinterfüllung beim Widerlager WL10 dem Erdbaumodell zugeordnet.

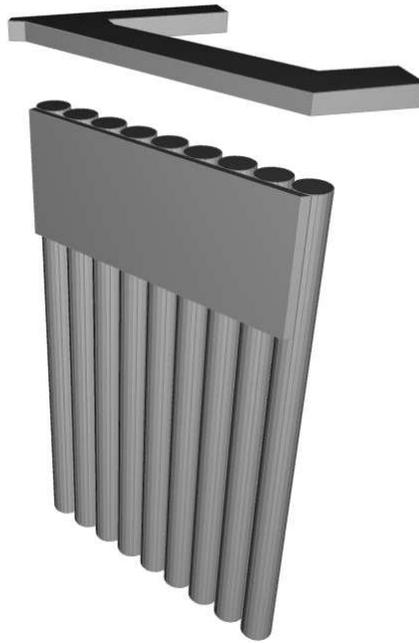


Abbildung 3.30: Widerlager Süd – WL30

Brückenentwässerung

Das Teilmodell Brückenentwässerung ist in die Elementklassen Rinne, Rohrbefestigung und Rohrleitungen nach Abbildung 3.31 gegliedert. Die Brückenentwässerung ist abhängig vom Verlauf des Brückentragwerks (Plattenbalken). Weil letzteres in Autodesk Revit mit dem Sofistik Bridge Modeller erstellt wurde, wurde die Brückenentwässerung anders als die Straßenentwässerung in Autodesk Civil 3D modelliert. Aufgrund der geringen Anforderungen an den LOG wurden lediglich die Elementtypen „Fallrohr“ und „Sammelleitung“ modelliert.

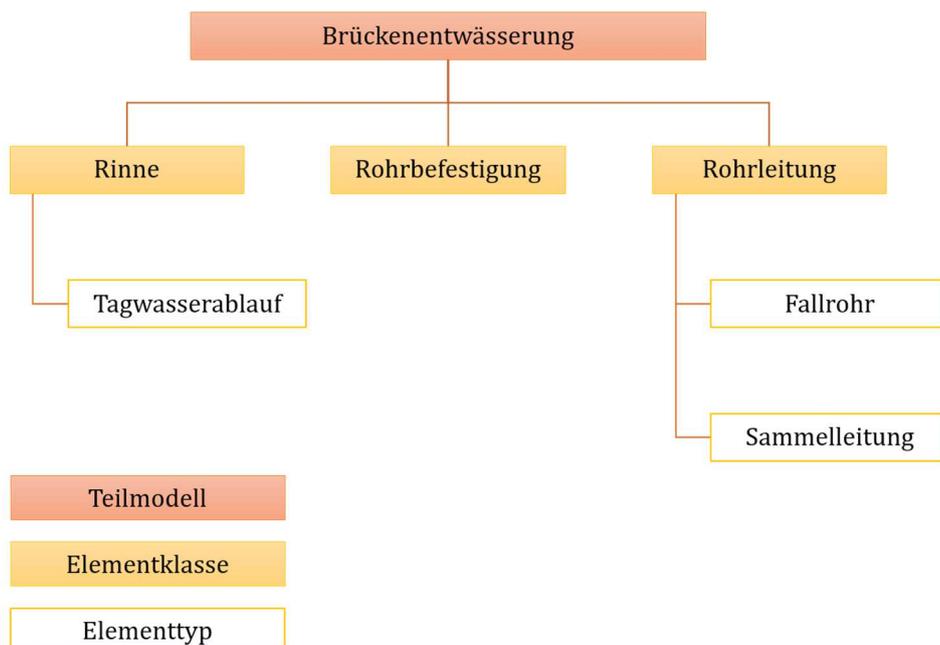


Abbildung 3.31: Modellstrukturplan für das Teilmodell Brückenentwässerung

Brückenausstattung

Das Teilmodell Brückenausstattung ist in die Elementklassen Bodenmarkierung, Rückhaltesystem, Verkehrszeichen und Beleuchtung nach Abbildung 3.32 gegliedert. Das Fußgängerrückhaltesystem wurde mit dem Sofistik Bridge Modeller erzeugt. Dabei wurde weniger Wert auf die genaue Geometrie der Bestandteile gelegt als auf die richtigen Pfostenabstände und die korrekte Geländerhöhe. Wegen der unterschiedlichen Pfostenabstände⁷ am Beginn und am Ende der Randbalken kommt es an den Übergängen zu einer Überlagerung von zwei Pfosten. Das Fahrzeurrückhaltesystem und die Brückenbeleuchtung wurde analog zu Abschnitt 3.3.3 in Autodesk Civil 3D modelliert.

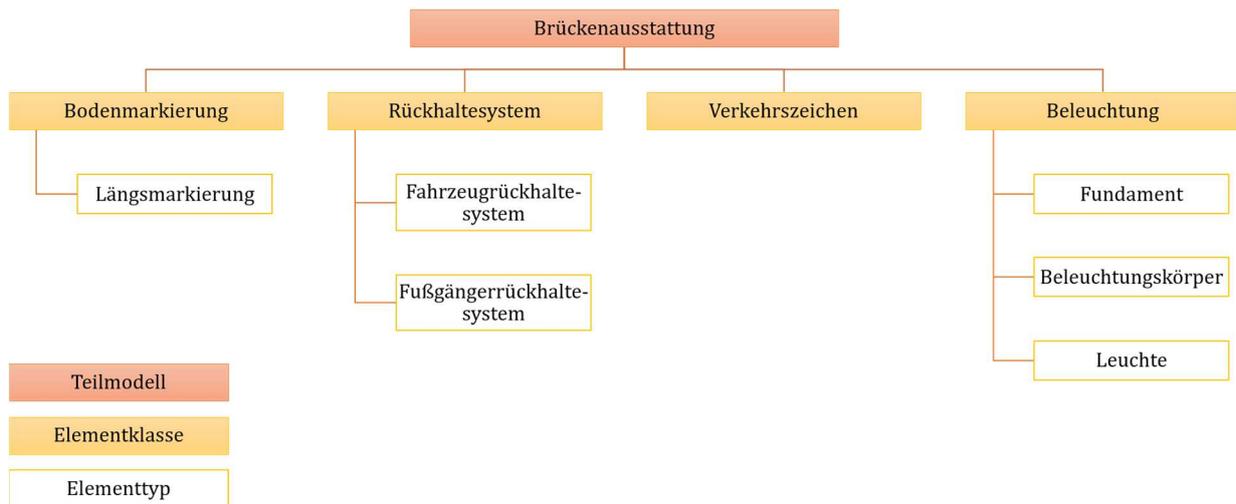


Abbildung 3.32: Modellstrukturplan für das Teilmodell Brückenausstattung

Stützmauer

Das Objekt M_S2.R3_L ist zwischen den Stationen km 0+046.000 und km 0+100.122 am linken Fahrbahnrand der Rampe 3 situiert. Die Stützmauer ist in 6 Blöcke unterteilt, die wiederum in Fundament und Stützmauersegmente aufgeteilt sind. Sie folgt zwar der Achse, verläuft jedoch nicht im Bogen. In den Bereichen der Knicke kommt es also zu Zwickeln, die vom Streckenmodell ausgefüllt werden müssen. Weil diese Lücken sehr klein sind und ein relativ hoher Modellierungsaufwand erforderlich ist, um diese zu füllen, wurden sie nicht in der Modellierung in RIB iTWO civil berücksichtigt.

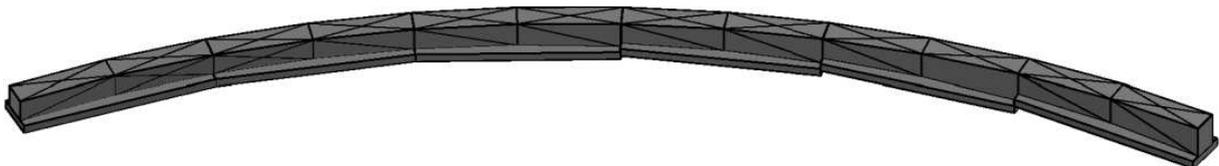


Abbildung 3.33: Stützmauer

⁷ Pfostenabstand am Anfang und am Ende 2,2 m – dazwischen 2m.

Die Stützmauer wurde analog zu den Brückenwiderlagern durch das Anheben der Absteckpunkte auf ihre Höhe laut Längsschnitt und anschließende Durchführung von 3D-Operationen in Autodesk Civil 3D generiert. Die Modellierung beschränkt sich aufgrund der geringen Anforderungen an die Geometrie auf das Stahlbetonfundament, die Stahlbetonsegmente und die Sauberkeitsschicht. Die Details (Fugeneinlage XPS 2 cm; Dehnfugenband PVC b=24 cm; Fugendübel S235 JR fvz., $\varnothing 30$, e=25 cm, l=60 cm; dauerelastische Kittfuge Ober- und Luftseite) wurden nicht geometrisch erfasst. Weiters wurden das Fußgängerrückhaltesystem und das Fahrzeurrückhaltesystem – also die Ausstattung der Stützmauer – wegen ihrem Achsbezug im Teilmodell Straßenausstattung erstellt. Der Fachplaner für die Ingenieurbauwerke muss dazu die Oberseite der Stützmauer als DGM an den Straßenplaner liefern.

3.3.5 Leitungsmodell (E&M = Elektro-maschinelles Modell)

Im Leitungsmodell sind alle Leitungen enthalten, die nicht zur Straßenentwässerung zählen. In Deutschland werden diese oft auch als Sparten bezeichnet. Das Leitungsmodell oder elektro-maschinelle Modell gliedert sich im vorliegenden Projekt in ein Bestandsmodell und ein Neubaumodell. Ersteres beinhaltet die bestehenden Leitungen der Einbautenträger nach Abschnitt 3.1.2 in ihrer Lage und Höhe. Das Neubaumodell stellt die Leitungen in ihrer endgültigen Lage dar. Aus den Unterschieden der beiden Modelle resultieren die erforderlichen Einbautenumlegungen.

Bestandsmodell

Für den zu bearbeitenden Abschnitt des Projektes ist vor allem die Lage des Wien Kanals von Bedeutung. Dieser verläuft unter der bestehenden Rampe 2 und eine Umlegung ist nicht geplant. Nach der Absenkung der Rampe 2 und der Herstellung der Zufahrt zur Restfläche wird das Brückenbauwerk B_S2.R3 hergestellt wobei der Pfeiler PF20 zwischen den beiden Straßenkörpern errichtet wird. Der Pfahlrost kommt dabei sehr nahe am bestehenden Wien Kanal zu liegen, weshalb eine genauere Betrachtung und Kollisionsprüfung notwendig ist.

Als Planungsgrundlage dienen die Daten des Kanal-Informationssystem (KANIS) der Stadt Wien. Dabei handelt es sich um einen Online-Dienst, mit dem digitale Informationen zum gesamten Wiener Kanalsystem in Form von AutoCAD (DWG/ DXF) oder GIS (ESRI Geodatabase/ SHP) Vektorgrafiken kostenlos bezogen werden können. Die Informationen beinhalten unter anderem Kanalquerschnitt, Länge, Gefälle, Sohlhöhe, Geländehöhe und Leitungen der Informations- und Kommunikationstechnologie. Es handelt sich beim betreffenden Kanal unter der Rampe 2 um ein Eiprofil 900/ 1350 unter einer 25 cm starken Lastverteilerplatte aus Beton C25/ 30. Weil bereits in der konventionellen Planung auf Basis der Daten des KANIS der Verdacht einer Kollision aufgekommen ist, wurde die Lage des Wien Kanals zusätzlich vom Vermessungsbüro Angst ZT aufgenommen. Abbildung 3.34 zeigt den Wien Kanal im Bereich des Brückenbauwerks unter Zugrundelegung der Vermessungsdaten.

Neubaumodell

Im Fall des vorliegenden Projektes wird das Hauptaugenmerk im Teilmodell Neubau auf Elektrizitätsleitung gelegt. Das Leitungsmodell enthält also alle Elektrizitätsleitungen, die die Trasse unterirdisch kreuzen und entlang dieser verlaufen (bzw. diese oberirdisch überqueren). Zu diesen zählen einerseits alle Nieder-, Mittel- und Hochspannungskabel, die von externen Betreibern genutzt werden und andererseits Leitungen, die für die Straßenbeleuchtung zur Verfügung stehen müssen. Für die Modellierung ist kein hoher LOG erforderlich. Die Leitungen werden durch linienförmige 3D-Objekte ohne Berücksichtigung der wahren Abmessungen (v.a. Durchmesser), jedoch

lagemäßig richtig gezeichnet. Um die Leitungen wird ein Sicherheitsraum definiert, der eine Art Lagetoleranz für die Leitungen nach dem Einbau darstellen soll. Dieser Sicherheitsraum kann beispielsweise in die Maschinensteuerung von Baggern für die Bauausführung eingelesen werden.

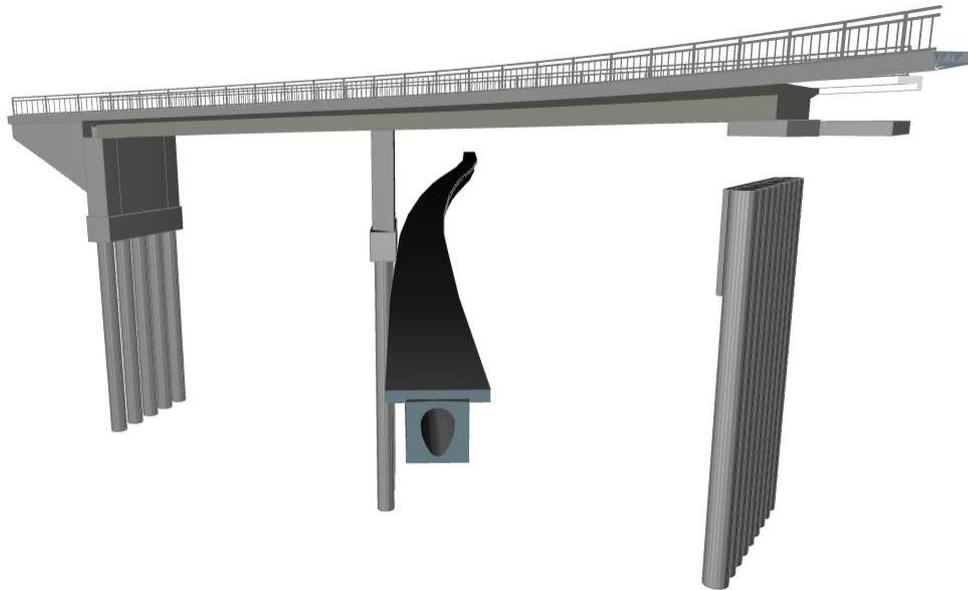


Abbildung 3.34: Wien Kanal im Bereich des Brückenbauwerks

3.4 Defizitanalyse

Im folgenden Abschnitt sind die Defizite aufgezeigt, die während der Bearbeitung des vorliegenden Projektes erkannt wurden. Es wurde dabei in die Defizite der konventionellen Planung und die noch vorhandenen Defizite der BIM-Methodik unterschieden.

3.4.1 Defizite in der konventionellen Planung

Einer der vielen Vorteile der BIM-Methode ist, dass durch die Aufbereitung der Daten mit Hilfe eines 3D-Modells das Projekt wesentlich einfacher erfasst und bis ins Detail verstanden werden kann. Durch diese bessere Veranschaulichung kann man eventuell vorhandene Planungsdefizite bzw. -fehler und Störungen aus der konventionellen Planung besser aufzeigen und nicht geklärte Detailfragen auflösen. Außerdem besteht die Möglichkeit die Ausschreibungsplanung und die Mengenermittlung durch in der Software implementierte Mechanismen einem zusätzlichen Prüflauf bzw. Plausibilitätscheck zu unterziehen. In diesem Kapitel sind die oben genannten Defizite aufgezeigt und dokumentiert, damit diese vor der Vergabe bzw. aller spätestens vor der Bauausführung entsprechend behandelt und korrigiert werden können. [1]

Wien Kanal

Mit den Daten aus dem KANIS war bereits in der konventionellen Planung ersichtlich, dass es im Bereich des neu herzustellenden Brückenbauwerks zu einer möglichen Kollision des Wien Kanals mit dem Pfeiler der Brücke kommen könnte. Aus diesem Grund wurde der Kanal im betroffenen Bereich von einem Vermesser aufgemessen. Nach Koordination der Fachmodelle ist schnell ersichtlich, dass eine Kollision mit dem vorliegenden Planungsstand unvermeidbar ist. Während es mit den Daten aus dem KANIS zu einer Kollision der Lastverteilerplatte mit dem Schacht S02-00-

001 der Straßenentwässerung gekommen ist, kommt nun der Pfahlrost des Pfeilers unter Berücksichtigung der Vermessungsdaten sehr nahe am Wien Kanal zum Liegen.

Unberücksichtigte Teile der Planung

Durch die reine Betrachtung eines Bauwerks in zweidimensionalen Ansichten ist es oft schwierig alle Rahmenbedingungen zu identifizieren, denen das Bauwerk zu folgen hat. Durch die Aufbereitung der Daten mit Hilfe eines 3D-Modells kann das Projekt wesentlich einfacher erfasst und bis ins Detail verstanden werden. Im Folgenden sind zwei Beispiele angeführt, die diesen Umstand im vorliegenden Projekt veranschaulichen.

- Der Straßenaufbau bzw. die Verantwortlichkeit für den Bereich zwischen dem Brückenbauwerk und der bestehenden A23 wurde nicht definiert. Durch das Darstellen der Planung in einem 3D-Modell fällt sofort auf, dass in diesem Bereich eine große Lücke vorhanden ist.
- Der Anschluss an die bestehende Hirschstettner Straße bzw. Marietta-Blau Gasse wird über das Herstellen eines neuen Gehweges realisiert. Zwischen der Hirschstettner Straße und der Rampe 3 ist ein 1,50 m Trennstreifen vorgesehen, der im Bereich der neuen Stützmauer in ein Schrammbord übergeht. Abbildung 3.35 zeigt den Bereich des Übergangs vom Trennstreifen zum Schrammbord. Durch den Anstieg der Rampe 3 ergibt sich an der Schnittstelle bei gleichbleibendem Quergefälle des Trennstreifens (2,5 %) ein vertikaler Versatz zum Bestandsleistenstein der Hirschstettner Straße. Aufgrund des hohen Stationierungsabstandes in der konventionellen Planung wird der Bereich nicht erfasst und ein solches Problem nur sehr schwer erkannt.

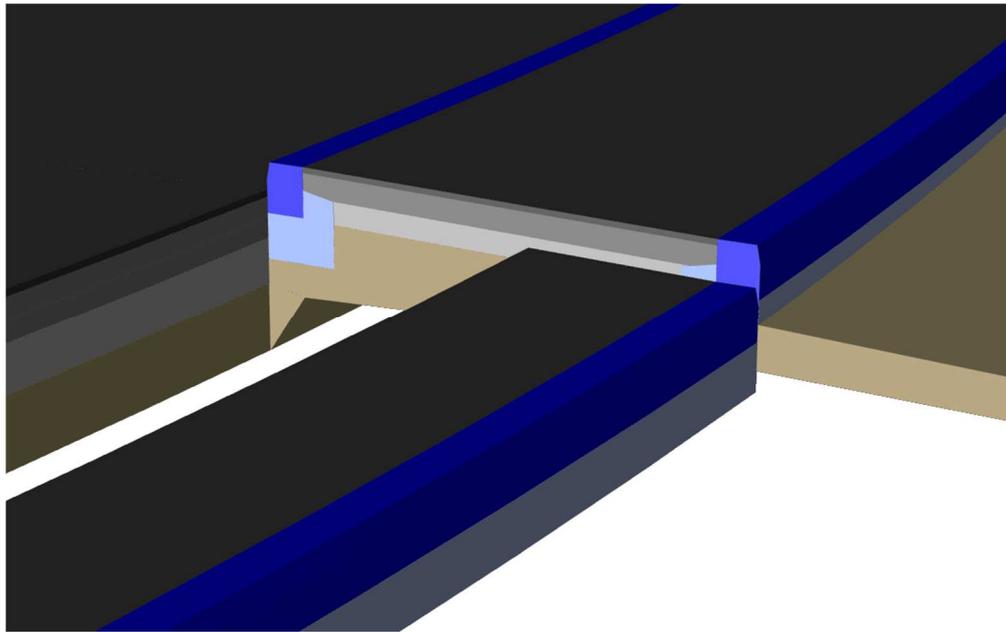


Abbildung 3.35: Übergang Trennstreifen - Schrammbord

Inkonsistenz der Pläne

Bei der reinen Beschreibung eines Bauwerks in Grundriss und Schnitten kann es sehr schnell zu Unstimmigkeiten zwischen den Darstellungen kommen. Vor allem bei kurzfristigen Revisionen von Plänen können schnell Fehler auftreten, die die Durchgängigkeit der Pläne nicht mehr gewährleisten. Im Folgenden sind einige Fehler aufgezeigt, die während der Aufbereitung der 2D-Planunterlagen entdeckt wurden:

- Der Aufbau der Zufahrt zur Restfläche und der Aufbau der Marietta-Blau Gasse stimmt in den Querprofilplänen der Rampen 2 und 3 nicht mit den Aufbauten nach Regelquerschnitt überein
- Widersprüche in Regelquerschnitt und Querprofilplänen der Rampe 3 (unter anderem bezüglich des Planums)
- Fehler bei Koordinatenpunkten in den Schalungsplänen des Widerlagers WL30
- Unterschiedliche Länge des Randbalkens RDB Nord in Lageplan und Objektsplan

3.4.2 Defizite der BIM-Methode

Auch die dreidimensionale Modellierung von Bauwerken weist noch Defizite auf. Vor allem an den Schnittstellen von Ingenieurbauwerken und Linienbauwerken kommt es noch zu Problemen. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass es noch keine allumfassende Softwarelösung gibt, die die beiden Welten vereint. Hinzu kommt der vergleichsweise hohe Modellierungsaufwand. Beispielsweise ist man mit Sofistik Bridge auf vorgefertigte Familien zur parametrischen Modellierung angewiesen. Weicht die herzustellende Geometrie von einer dieser Familien ab, so ist es nur mit sehr großem Aufwand möglich diese dahingehend anzupassen. Im vorliegenden Projekt war etwa bei den Kragarmen eine von der Fahrbahn unterschiedliche Querneigung, sowie eine Nase zur Befestigung des Randbalkens gefordert. Auf diese wurde aufgrund der geringen Anforderungen an den LOG verzichtet.

3.5 Koordination am Gesamtmodell – Kollisionsprüfung

Wie bereits in Abschnitt 3.2.4 beschrieben, liegt es im Aufgabengebiet des BIM-Gesamtkoordinators die einzelnen Fachmodelle in regelmäßigen Abständen zu Koordinationsmodellen zusammenzuführen und diese auf etwaige Konflikte zu prüfen. Diese iterative und interaktive Prüfung unter Zuhilfenahme digitaler Methoden ist im folgenden Abschnitt dokumentiert.

Die Teilmodelle sind dabei einerseits auf interne Kollisionen und andererseits auf Kollisionen untereinander zu prüfen. In der verwendeten Koordinationssoftware Desite MD Pro ist es notwendig sogenannte Prüfläufe zu definieren. In diesen Prüfläufen werden Modellelemente, Auswahlmengen oder ganze Teilmodelle, die einer Kollisionsprüfung unterzogen werden sollen, den Prüfmengen zugeordnet. Nach Angabe einer Toleranz kann eine Kollisionsprüfung durchgeführt werden. Das Ergebnis ist eine Liste von Kollisionen, die der Reihe nach abgearbeitet werden kann. Durch Selektieren einer Kollision werden die beiden betroffenen Elemente im Modellfenster isoliert dargestellt. Diese Bildschirmaufnahme kann gegebenenfalls um Kommentare oder Skizzen ergänzt, im BCF abgespeichert und an die Fachplaner weitergeleitet werden. Abbildung 3.36 zeigt die Kollision der Bestandsleitung des Wien Kanals (auf Basis der KANIS-Daten) mit dem geplanten Schacht S02-00-001 der Straßenentwässerung der Zufahrt zur Restfläche.

Kollision Schacht S02-00-001
mit Bestandsleitung Wien Kanal



Abbildung 3.36: Kollision Straßenentwässerung - Bestandsleitungen

3.6 Planableitung vom Modell

Mit dem derzeitigen Stand der Technik ist es nicht möglich Pläne aus dem Koordinationsmodell abzuleiten. Diese Anforderung liegt zurzeit auch nicht im Aufgabengebiet der auf dem Markt befindlichen Koordinationssoftwareprodukte. Weil beim Export von 3D-Modellen in den unterschiedlichen Datenformaten nach Abschnitt 2.6 keinerlei Informationen zu Ansichten oder Bemaßungen übergeben werden, verbleibt die Planableitung im Aufgabenbereich der jeweiligen BIM-Autorensoftware. Um dennoch eine Verknüpfung des Koordinationsmodells mit den Planunterlagen zu bewerkstelligen, können die konventionellen 2D-Pläne in Desite MD Pro an die Modellelemente angehängt und beim Export eines konsolidierten Modells mit übergeben werden.

Ein gutes Beispiel für eine automatisierte Planableitung ist das Streckenmodell, welches aus der Trassierungssoftware RIB iTWO civil kommt. Die Planableitung ist neben der Verknüpfung der drei Ansichten (Grundriss, Längsschnitt und Querprofil) und dem automatischen Nachziehen von Änderungen, sogar eine der Hauptaufgaben solcher Softwarelösungen. Wie in Abschnitt 2.3.2 festgehalten, ist das Generieren eines 3D Modells lediglich eine Erweiterung solcher Softwarelösungen und basiert somit immer noch auf der konventionellen Vorgehensweise zur Trassierung einer Strecke.

Für die Fachmodelle, die aus Autodesk Civil 3D stammen, ist eine voll automatisierte Planableitung nur bedingt möglich. Die unterschiedlichen Ansichten können zwar bemaßt und über das Layout Fenster ausgegeben werden, bei auftretenden Änderungen in der Geometrie müssen diese jedoch händisch aktualisiert werden. Dies liegt an der fest zugewiesenen Geometrie der in Autodesk Civil 3D erstellten Volumenkörper.

Im Gegensatz dazu werden Objekte in Autodesk Revit in unterschiedlichen Ebenen über die Eingabe von Parametern generiert. Aus diesen Modellebenen können Pläne in unterschiedlichen Detaillierungsgraden (Einreichplan, Polierplan etc.) erzeugt werden. Kommt es zu Änderungen in der Geometrie von Bauteilen, so werden die Maßketten automatisch nachgezogen. Die Durchgängigkeit der Planunterlagen ist somit immer gegeben. Für Modelle, die mit dem Sofistik Bridge

Modeller erzeugt werden, ist zusätzlich die automatische Ableitung von Ansichten, Grundriss, abgewinkeltem Längsschnitt und Querschnitten möglich.

3.7 Mengenermittlung

Die Mengenermittlung bildet die Grundlage für die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung von Bauleistungen. Die konventionelle Ausschreibung erfolgt über Leistungsverzeichnisse, die auf den konstruktiven Leistungsbeschreibungen für Hochbau (LB-HB) und Verkehrsinfrastruktur (LB-VI) beruhen. Für die Abrechnung der Leistungspositionen im Hochbau verweist die LB-HB auf die Abrechnungsregeln der jeweiligen Werkvertragsnormen. Die Abrechnungsregeln für Leistungspositionen der Verkehrsinfrastruktur sind in den Regelblättern zur LB-VI enthalten. Aufgrund der komplexen Geometrie von Straßen- und Erdkörpern wurden für deren Mengenermittlung eine Reihe von vereinfachenden Berechnungsmethoden eingeführt.

In den folgenden Abschnitten wird auf die verwendeten Mengenermittlungsmethoden der Softwarelösungen eingegangen. Gerade in der Bauabrechnung ist die Nachvollziehbarkeit dieser Berechnungsmethoden für die örtliche Bauaufsicht (ÖBA) von zentraler Bedeutung.

3.7.1 Erdbaumodell

Für die Berechnung von Erdmengen stehen im Wesentlichen zwei normierte Verfahren zur Verfügung. Die erste Methode – die Prismenmethode nach REB-VB 22.013 – ist in den meisten Softwarelösungen bereits implementiert. Während es für Autodesk Civil 3D ein Add-on (DACH-Extension) für dieses Berechnungsverfahren gibt, gehören diese zur Grundausstattung jeder gängigen Trassierungssoftware. Eine Volumenkörpergenerierung aus der Berechnung nach Prismenmethode ist in RIB iTWO civil zurzeit noch nicht möglich. Die Ergebnisse können jedoch in Mengenberichten ausgegeben werden oder als Attribut an das jeweilige DGM angehängt werden. In Autodesk Civil 3D ist hingegen eine Generierung von Volumenkörpern möglich. Mit der Prismenmethode können nur Auftrags- oder Abtragskörper zwischen zwei DGM mit gleicher Grundfläche bestimmt werden. Die Körper des Erdbaumodells werden jedoch zwischen dem jeweiligen Planum des Teilmodells und dem Urgelände – welche eine unterschiedliche Grundfläche aufweisen – gebildet. Weiters dürfen sich die beiden DGM bei der Prismenmethode nicht durchdringen.

Im Gegensatz dazu ist es mit der Methode nach GAEB-VB 22.114 möglich sowohl Auftrags- als auch Abtragskörper zwischen zwei DGM unterschiedlicher Grundfläche zu bestimmen. Aus diesem Grund wurde für die Mengenermittlung im vorliegenden Projekt auf diese Methode zurückgegriffen. Während die Berechnung in RIB iTWO civil der GAEB-VB folgt und somit prüfbar ist, können in Autodesk Civil 3D Mengen zwar berechnet jedoch nicht geprüft werden. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse für das Volumen der generierten Auf- und Abtragskörper zwischen dem Unterbauplanum der Rampe 3 und dem Urgelände in den ersten beiden Spalten der Tabelle 3.5 zeigt jedoch, dass die Unterschiede der beiden Methoden vernachlässigbar klein sind. Analog zum Verfahren nach Prismenmethode ist es in RIB iTWO civil nicht möglich Volumenkörper aus den berechneten Mengen zu bilden. In Autodesk Civil 3D hingegen gibt es ein Verfahren zur Erstellung von Volumenkörpern. Wie in der dritten Spalte der Tabelle 3.5 ersichtlich, weicht das Volumen der generierten Auf- und Abtragskörper nur marginal vom berechneten Volumen nach GAEB-VB ab.

Tabelle 3.5: Vergleich der Methoden zur Bestimmung von Erdmengen

	RIB iTWO civil GAEB-VB 22.114	Autodesk Civil 3D Mengen-Manager	Autodesk Civil 3D Volumenkörper
Auftrag	1367,61 m ³	1367,61 m ³	1366,41 m ³
Abtrag	2297,04 m ³	2297,15 m ³	2297,00 m ³

Wie in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, ist es für Erdkörper, die einer Achse folgen, möglich Querprofilflächen analog zu den Schichten des Oberbaus zu definieren. Weil die Erdkörper in der Regel vom Urgelänge-DGM begrenzt sind und die Querprofile nur eine Momentaufnahme dessen darstellen, hängt die Genauigkeit dieser Methode vom gewählten Querprofilabstand ab. Tabelle 3.6 zeigt die Unterschiede in den beiden Methoden. Es fällt auf, dass im konkreten Fall bei der Ermittlung der Mengen in Querprofilen der Auftrag über- und der Abtrag unterschätzt wird.

Tabelle 3.6: Vergleich der Berechnung über Querprofile und der Berechnung aus Horizonten

	Berechnung über Querprofile		Berechnung aus Horizonten
	REB-VB 21.013	ÖNORM A 2063	GAEB-VB 22.114
Auftrag	1379,46 m ³	1377,85 m ³	1367,61 m ³
Abtrag	2242,99 m ³	2244,18 m ³	2297,04 m ³

Die Ergebnisse der Mengenermittlung sind vom Fachplaner für das Erdbaumodell als Attribut an die Modellelemente anzuhängen, sodass diese in der AVA-Software abgefragt werden können.

3.7.2 Streckenmodell

Die Mengen von trassengebundenen Volumenkörpern können entweder in einer Trassierungssoftware, die die gängigen Berechnungsmethoden schon implementiert hat, oder in Autodesk Civil 3D mit Hilfe der DACH-Extension ermittelt werden. Weil das Streckenmodell in RIB iTWO Civil generiert wurde, wird auf die beiden Berechnungsmethoden dieser Softwarelösung eingegangen. Die Berechnung des Volumens kann dabei entweder nach REB-VB 21.013 [19] oder nach ÖNORM A 2063 [9] erfolgen. In der Mengenermittlung liefern die beiden Berechnungsarten (quasi) dieselben Ergebnisse. Beim Erstellen der 3D-Trassenkörper gibt es jedoch für die Berechnung nach ÖNORM ein Problem. Weil die Menge nach ÖNORM aus dem Produkt der Querprofilfläche mit dem halben Achsabstand zur vorangehenden bzw. nachfolgenden Station berechnet wird, die Trassenkörper jedoch immer zwischen zwei Querprofilen generiert werden, ergeben sich mehr Berechnungsergebnisse als Volumenkörper. Beim Modellexport steht somit kein Trassenkörper zur Verfügung, dem das überzählige Berechnungsergebnis angeheftet werden kann. Dieser Umstand soll anhand des folgenden Beispiels für zwei Trassenkörper der ungebundenen unteren Tragschicht nach Abbildung 3.37 veranschaulicht werden.

Die Mengenermittlung liefert in RIB iTWO civil (bzw. im erstellten Mengendatensatz) in Summe sowohl für die Methode nach ÖNORM als auch für die Methode nach REB-VB dasselbe Ergebnis (19,28 m³). Fragt man jedoch das Attribut, in dem die Normmenge gespeichert ist⁸, nach dem Modellexport in der Koordinationssoftware oder einer AVA-Software ab, so wird ersichtlich, dass bei einer Berechnung nach ÖNORM die Menge des letzten Trassenkörpers des Modells zu klein ist. Im

⁸ Die berechnete Menge eines Trassenkörpers (Volumen oder Oberfläche) wird im Attribut Infra_NormVolume bzw. Infra_NormArea des CPIXML Formats übergeben.

Unterschied zur Berechnung nach ÖNORM entspricht die REB-Menge dem Produkt aus dem arithmetischen Mittel der beiden Querprofilflächen und dem Stationsabstand und somit dem realen Volumen des Trassenkörpers. Tabelle 3.7 zeigt einen Vergleich der Modellmengen mit dem berechneten Volumen aus der Koordinationssoftware Desite MD Pro.

Tabelle 3.7: Vergleich der Modellmengen

Trassenkörper	ÖNORM A2063	REB-VB 21.013	Desite MD Pro
46,000-50,000	9,647 m ³	9,512 m ³	9,510 m ³
50,000-54,191	4,832 m ³	9,768 m ³	9,771 m ³
Σ Modellmenge	14,479 m ³	19,280 m ³	19,281 m ³

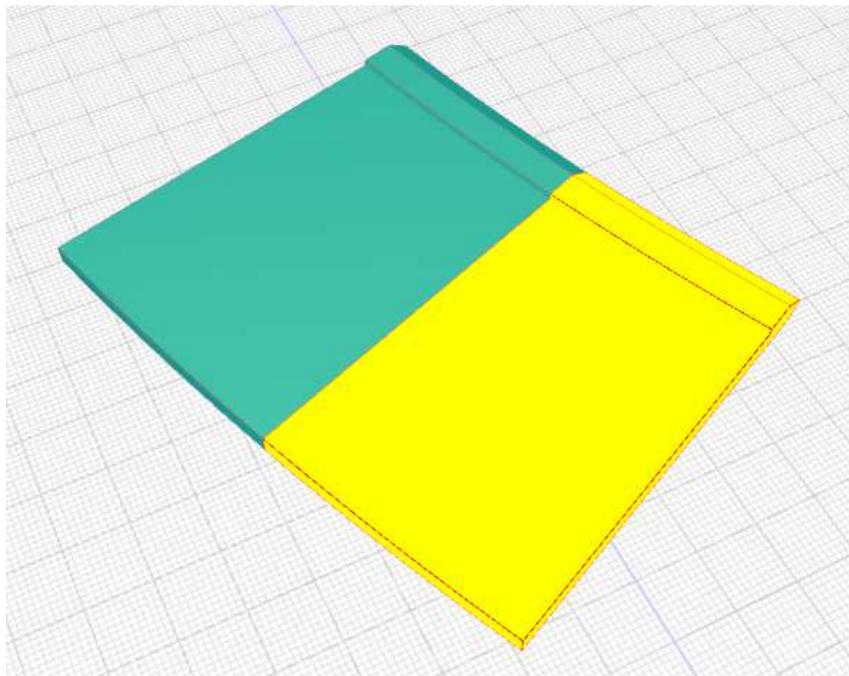


Abbildung 3.37: Beispiel für zwei Trassenkörper

Für die Flächenberechnung stehen in RIB iTWO Civil zwei Berechnungsmethoden zur Verfügung. Die erste Möglichkeit ist die Oberflächenberechnung aus Begrenzungslinien nach REB-VB 21.022. Für dieses Verfahren gibt es derzeit jedoch kein direktes Prüfprogramm für die Eingabedaten, weil dieses in der aktuellen Sammlung der REB-VB (Stand: September 2013) nicht mehr enthalten ist. Alternativ dazu bietet die Software die Möglichkeit die Oberflächenberechnung auf Basis der Querprofile nach REB-VB 21.033 durchzuführen. Dieses Berechnungsverfahren entspricht in seiner Logik dem Verfahren VB 21.003 (Elling) nur beschreiben hier die Begrenzungslinien keine geschlossenen Umringe, sondern die Strecken, deren Längen berechnet werden sollen. Das Verfahren zur Beschreibung eines Profilumfangs durch Polygoneckpunkte orientiert sich an der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB) zur Leistungsabrechnung bei Erdbauwerken. [36]

Der Fachplaner für das Streckenmodell hat sicherzustellen, dass die Ergebnisse der Mengenermittlung in Form von Attributen an die Modellelemente angehängt sind, damit diese in der AVA-Software abgefragt werden können.

3.7.3 Bauwerksmodell

Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, erfolgt die konventionelle Abrechnung der Leistungspositionen im Hochbau auf Basis der Abrechnungsregeln der jeweiligen Werkvertragsnormen. Diese Regeln müssen bei der Mengenermittlung entsprechend berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist in Bruttomengen, bei denen Öffnungen keine Berücksichtigung finden, und Nettomengen, die der tatsächlichen Menge entsprechen, zu unterscheiden. Mit der Nutzung von BIM ist es möglich die tatsächlichen Mengen aus dem Modell abzufragen. Diese Vorgehensweise widerspricht nach Pfersche [35] zurzeit noch den Abrechnungsregeln der Werkvertragsnormen. Beispielsweise werden in den Werkvertragsnormen Öffnung in einer Wand erst ab einer bestimmten Größe abgezogen. Dies kann zu anderen Ergebnissen gegenüber der Netto-Methode führen. Mit dem Fortbestehen der Abrechnungsregeln müssen die Bruttomengen in der AVA-Software abgefragt und Formeln zur Berücksichtigung dieser Regeln je nach Art des Elements (Wand, Decke, Stütze, etc.) aufgesetzt werden.

Bei den Elementen eines BIM-Modells handelt es sich um intelligente Objekte, die ihre Fachbedeutung kennen. Die Art bzw. der Typ eines Elementes wird im IFC-Standard mit dem Attribut `ifcbuildingelement` (z.B. `ifcWall`, `ifcSlab` oder `ifcColumn`) definiert. Diese Information kann in einer BIM-fähigen AVA-Software abgefragt werden und je nach Elementtyp wird automatisch die passende Formel zur Mengenberechnung zugeordnet. Die Mengen solcher Gebäudeelemente sind in der Regel sehr leicht prüfbar und man benötigt keine aufwendigen Berechnungsmethoden wie es im Tiefbau der Fall ist. Handelt es sich bei den generierten Objekten um freie Volumenkörper, die in keine der in der IFC-Datenstruktur definierten Elementtypen passen, so wird dem Element das Attribut `ifcbuildingelementproxy` zugeordnet. Aufgrund ihrer zum Teil sehr komplexen Geometrie fallen die Körper des Bauwerksmodells des vorliegenden Projektes in diese Kategorie. Ihr Volumen bzw. ihre Oberfläche kann nur durch das Auslesen ihrer Nettomenge bestimmt werden und ist in der Regel schwer prüfbar.

3.8 Verknüpfung mit Leistungsverzeichnis

Weil der Anwendungsfall 7 der AIA – die Verknüpfung mit dem LV – nicht im Fokus dieser Diplomarbeit liegt, wird er nur kurz umrissen. Die in Kapitel 3.7 berechneten Mengen werden in Form von Attributen an die modellierten 3D-Volumenkörper angehängt und können beim Import in eine BIM-fähige AVA-Software (z.B. RIB iTWO) automatisiert abgefragt und mit den entsprechenden LV-Positionen verknüpft werden. Für die Elemente, die keine Normmenge in Form eines Attributes aufweisen, muss die Nettomenge von der verwendeten AVA-Software abgefragt werden. Durch Verknüpfung mit dem LV ist ein Vergleich von ausgeschriebener Menge und Voraussichtlicher Abrechnungsmenge (VA-Menge) möglich. Auf Basis der verknüpften Mengen kann die Kalkulation für ein Bauprojekt vorgenommen werden.

3.9 Gebrauchstauglichkeit der IFC-Schnittstelle im Infrastrukturbereich

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass für das vorliegende Projekt versucht wurde so viele Teilmodelle wie möglich über das offene IFC-Format auszutauschen. Wie aus Abbildung 3.9 ersichtlich, ist dies noch nicht für alle Teilmodelle möglich. Im Folgenden wird auf die Gebrauchstauglichkeit der IFC-Schnittstelle der einzelnen Softwarelösungen näher eingegangen.

Wie in Abschnitt 2.6.3 festgehalten liegt der IFC-Standard aktuell in der Version 4.1 vor. Mit dieser Schnittstelle ist es zurzeit nur möglich die dreidimensionale Achse einer Trasse zu übergeben. Um 3D-Trassenkörper in einem offenen Format aus einer Trassierungssoftware wie iTWO

civil übergeben zu können muss die Entwicklung der Standards IFC-Road, IFC-Rail und IFC-Bridge abgewartet werden. Die Übergabe von 3D-Trassenkörpern bleibt somit vorerst dem CPIXML-Standard vorbehalten.

In Autodesk Revit funktioniert die IFC Schnittstelle hingegen schon sehr gut. Modelle, die mit dem Sofistik Bridge Modeller generiert werden können mit sehr hohem Detailierungsgrad ausgegeben werden, wie die Tragwerksplatte und die Außenrandbalken im vorliegenden Projekt zeigen. Im Gegensatz dazu ist die Schnittstelle in Autodesk Civil 3D noch nicht sehr ausgereift. Abbildung 3.38 zeigt das Ergebnis des IFC-Exports des Brückenbauwerks aus Autodesk Civil 3D. Hier können zwar Volumenkörper übergeben werden (ifcbuildingelementproxy), die Schnittstelle unterstützt jedoch keine Volumenkörper, die entlang von Kurven gesweept wurden. Weil die Oberflächen von Erdkörpern, die zwischen zwei digitalen Geländemodellen erstellt werden, ebenfalls Dreiecksflächen sind, können diese wiederum ohne Probleme aus Autodesk Civil 3D im IFC-Format ausgegeben werden (siehe Erdbaumodell).

Um ein konsolidiertes Modell im IFC-Format ausgeben zu können sei auf Abschnitt 3.2.1 verwiesen. Mit der richtigen Koordinationssoftware können proprietäre Formate, wie das im Tiefbau gängige CPIXML-Format eingelesen und anschließend konsolidierte Modelle als IFC-Datei exportiert werden. Dazu müssen die generierten Infrastrukturmodelle in die aus dem Hochbau bekannte Bauwerksstruktur/ Datenstruktur nach Abbildung 3.6 eingearbeitet werden.

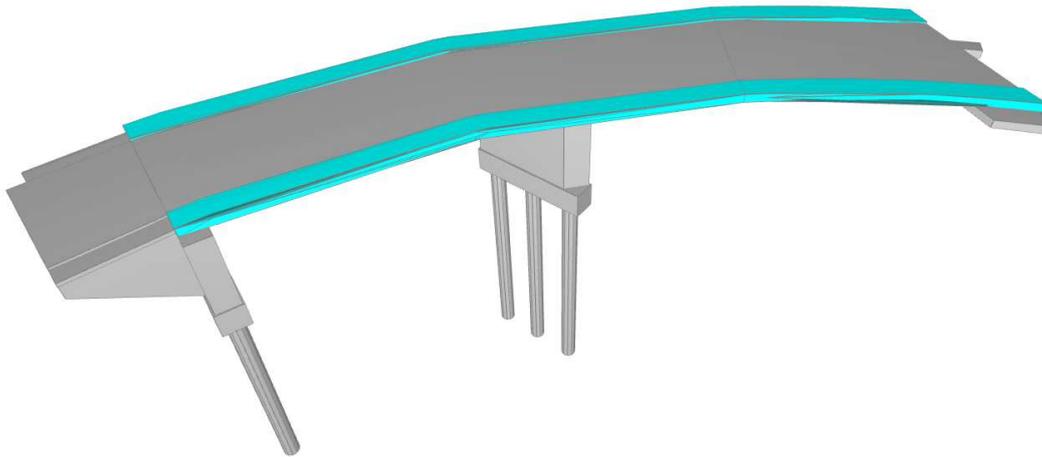


Abbildung 3.38: Brückenbauwerk nach IFC-Export aus Autodesk Civil 3D



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

4 Forschungsergebnisse

Im nachfolgenden Abschnitt sind die wichtigsten Erkenntnisse zum Thema Building Information Modeling im Infrastrukturbau zusammengefasst, die durch die Modellierung eines Teilbereiches eines Infrastrukturprojektes entstanden sind. Zunächst werden die Grundgedanken von BIM, sowie die wichtigsten Themenpunkte in diesem Zusammenhang beschrieben. Anschließend folgt eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt. Dieser erste Abschnitt soll als Grundlage für die Beantwortung der Forschungsfragen im zweiten Abschnitt dienen. Im dritten und letzten Abschnitt wird ein Ausblick auf weitere Forschungsthemen gegeben, die zukünftig von Interesse sein können.

4.1 Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse

Der Bauprozess ist gerade im Infrastrukturbereich aufgrund der Größe der Projekte durch eine Vielzahl von Projektbeteiligten entlang der Wertschöpfungskette des Bauwerks gekennzeichnet. Durch diesen Umstand ergeben sich eine Reihe von Schnittstellen, sowohl innerhalb der unterschiedlichen Projektphasen (z.B. innerhalb von Planungsgemeinschaften bzw. Arbeitsgemeinschaften), als auch zwischen diesen (z.B. zwischen der Planung und der Ausführung eines Bauwerks). An diesen Schnittstellen kommt es im konventionellen Bauprojekt noch häufig zu Brüchen im Informationsfluss.

In der konventionellen Erstellung eines Trassenentwurfs wird in drei zweidimensionalen Ansichten gearbeitet. Mit der Überlagerung dieser 2D-Informationen wird eine dreidimensionale Trasse beschrieben, ohne dass dabei ein tatsächliches 3D-Modell erstellt wird. Zur Datenübergabe werden die generierten 3D-Trassendaten in der Regel wieder in zweidimensionale Pläne übergeführt. Auch die konventionelle Planung und Ausführung von Bauwerken im Hoch- und Ingenieurtiefbau erfolgt auf Basis von zweidimensionalen Plänen. Bei der Beschreibung eines Bauwerks in Grundriss, Aufriss und Schnitten bzw. einer Trasse in Lageplan, Längsschnitt und Querschnitt können jedoch leicht Unstimmigkeiten zwischen diesen Ansichten entstehen. Dies geschieht vor allem beim Auftreten von Änderungen in einer dieser Ansichten. Während der Ausführungsphase wird wegen dem hohen Kosten- und Termindruck oft sogar dezidiert auf eine digitale Fortschreibung der Ausführungspläne verzichtet. Weiters können komplexe Projekte durch die Reduktion auf eine Betrachtung in zweidimensionalen Ansichten oft nicht bis ins Detail durchdacht werden. Dies führt zu unberücksichtigten Teilen in der Planung und bei nicht Entdecken zu einem Mehraufwand in der Bauausführung.

Zusammenfassend gibt es sowohl Defizite in der durchgängigen Nutzung von Informationen als auch in der Konsistenz der generierten Plandaten. Eine umfassende modellbasierte digitale Planung soll diese Defizite beheben und darüber hinaus neue Möglichkeiten schaffen, die die erfolgreiche Abwicklung von Großprojekten erleichtern. Diese neue Arbeitsweise ist unter dem Namen Building Information Modeling – kurz BIM – bekannt. Doch auch mit dem Einführen der BIM-Methodik entfällt die oben genannte Schnittstellenproblematik nicht gänzlich. Um den Datenverlust an den Schnittstellen so gering wie möglich halten zu können, müssen dazu in einem ersten Schritt die heute gängigen Datenformate genauer untersucht werden. Prinzipiell wird in offene und in proprietäre Datenformate sowie in Datenformate für die Übergabe von ganzen Modellen oder für die Übergabe von Teilen der Planung unterschieden. Der bekannteste Vertreter für ein offenes Datenformat zur Übertragung von BIM-Modellen ist der IFC-Standard nach ISO 16739-1.

Er liegt zurzeit in der Version 4.1 vor und ist im Wesentlichen für die Übergabe von Hochbaumodellen gedacht. Zwar ist mit ihm die vollständige dreidimensionale Beschreibung von Achsen als Kombination von horizontalen und vertikalen Trassierungselementen möglich, eine Übertragung von dreidimensionalen Trassenkörper wird jedoch noch nicht unterstützt. Grund dafür ist die fehlende Definition einer gemeinsamen Datenstruktur für den Infrastrukturbereich. In Österreich wurde deswegen das BIM-VI Forschungsprojekt geschaffen, dessen Ergebnisse unter anderem als Basis für die Entwicklung des IFC5 Standards dienen. Dieser soll eine standardisierte Datenstruktur für Verkehrsinfrastruktur definieren und den offenen Austausch von Tiefbaumodellen ermöglichen. Zurzeit befinden sich die Domänen Straße, Schiene, Brücke und Tunnel in der Entwicklung durch buildingSMART. Bis diese den Status einer Norm erreichen, müssen die Modelle jedoch noch über andere Formate ausgetauscht werden. Im Infrastrukturbereich hat sich dafür das von der RIB Software AG entwickelte CPIXML-Format als äußerst zweckdienlich erwiesen.

Das alleinige Arbeiten mit Modellen erfüllt mit dem jetzigen Stand der Technik noch nicht alle Bedürfnisse. Zwar können mit modernen Methoden der Bauausführung Teile von Ausführungsplänen obsolet werden, der vollständige Wegfall von konventionellen Plänen und die Ausführung nach dem Modell ist jedoch noch eine Vision der Zukunft. Weiters können die konsolidierten Modelle – egal in welchem Format diese vorliegen (IFC, CPIXML) – nicht in ihrer Geometrie verändert werden. Kommt es also zu Änderungen während der Planungsphase müssen diese von den jeweiligen Fachplanern in der BIM-Autorensoftware eingearbeitet werden. Kommt es zu Änderungen während der Ausführung, so sind diese entweder vom ausführenden Unternehmen oder unter Einbeziehung des Planers einzuarbeiten. Ersteres bedingt jedoch den Austausch nativer Daten, weil die übergebenen Modelle nicht abgeändert werden können. Dies bedeutet aber, dass die freie Wahl der Autorensoftware entfällt. Als Alternative zur Übergabe ganzer Modelle oder nativer Planungsdaten ist es auch möglich einzelne Teildaten einer Trasse in eigens dafür geschaffenen offenen Datenformaten gemäß den Regelungen für die elektronische Bauabrechnung (REB) zu übergeben. Es handelt sich dabei um herstellerneutrale ASCII-Daten die Informationen zu den Trassierungsparametern von Infrastrukturbauten beinhalten („geschriebene Geometrie“) und noch aus der Lochkartenzeit stammen. Sie erleichtern das Rekonstruieren einer Trasse in einer BIM-Autorensoftware und vermindern den Datenverlust bei der Übergabe zwischen den Projektbeteiligten.

Zuletzt kann mit der BIM-Methode eine sehr genaue Ermittlung der tatsächlichen Mengen (Nettomengen) erfolgen. Diese digitale Mengenermittlung ist ein wesentlicher Bestandteil der BIM-Methode. Die Mengenermittlung bildet die Grundlage für die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung von Bauprojekten. Die konventionelle Abrechnung von Bauleistungen erfolgt in Österreich nach den Abrechnungsregeln der Werkvertragsnormen. In Zukunft bedarf es einer Anpassung dieser Abrechnungsregeln an die Anforderungen der BIM-Methode bzw. den Ersatz dieser Vorgehensweise durch eine reine Abrechnung nach Nettomengen, welche direkt aus dem BIM-Modell abgefragt werden.

Um weiters eine gewerkeübergreifende BIM-Planung eines Infrastrukturbauvorhabens erstellen zu können benötigt es, wegen der neu entstandenen Aufgabengebiete, Definitionen für eine Vielzahl von neuen Rollen. Die für die Bearbeitung des vorliegenden Projektes identifizierten Rollen sind die BIM-Manager auf Auftraggeber- und Auftragnehmerseite, ein BIM-Gesamtkoordinator, sowie die Fachplaner der fünf definierten Disziplinen Geländemodellierung, Erdbau, Straßenbau, Ingenieurbau, Elektrik und Maschinenbau. Die Fachplaner können sich wiederum aus einem BIM-Fachkoordinator und einem oder mehreren BIM-Modellern zusammensetzen. Die Aufgaben und

das Zusammenspiel der unterschiedlichen Rollen sind in der Beantwortung der Forschungsfragen näher erläutert. Im Folgenden werden die Erkenntnisse für die Modellierung der fünf definierten Fachmodelle Gelände-, Erdbau-, Strecken-, Bauwerks- und Leitungsmodell kurz zusammengefasst.

Sowohl in der Neuplanung einer Trasse als auch im Umbau einer bestehenden Strecke bildet das ursprüngliche Gelände die Basis aller Planungsprozesse. Die Darstellung des vorliegenden Geländes erfolgt in einem sogenannten digitalen Geländemodell (DGM), welches ein angenähertes räumliches Abbild der Umgebung darstellt. Ein DGM wird durch das Aufmessen einzelner Punkte und geradliniges Verbinden dieser Punkte zu einem Netz gebildet. Durch Ergänzen von Zwangslinien – sogenannten Bruchkanten – kann die Genauigkeit zusätzlich erhöht werden. Für die korrekte Verortung des Geländemodells ist es wichtig das Projekt-Koordinatensystem richtig zu definieren. Weiters kommt der gewissenhaften Einarbeitung von Vermessungsdaten eine hohe Bedeutung zu, weil in den Anfangs- und Endbereichen ein Anschluss an den Bestand hergestellt werden muss.

Für die Modellierung des Erdbaumodells ist es einerseits notwendig das bestehende Gelände inklusive seiner Bodenschichten bzw. befestigten Schichten zu kennen und andererseits die Grenze zu den neu herzustellenden Bauwerken zu kennen. Weiters muss für die korrekte Erfassung der Abtrags- und Auftragspositionen der Bauablauf bekannt sein. Im vorliegenden Projekt war das vor allem für die Modellierung der Baugrubenaushübe der Stützmauer und der Brückenfundamente von Bedeutung. Weil die Kompetenzen der beiden Disziplinen sehr ähnlich sind, können die Fachmodelle Geländemodell und Erdbaumodell gegebenenfalls vom gleichen Fachplaner erstellt werden.

Für die Erstellung des Streckenmodells reicht es nicht aus, die Trasse lediglich an den Stationen, an denen die Querprofile in der konventionellen Planung berechnet wurden zu kennen. Vor allem für die korrekte Mengenermittlung ist es notwendig die Stationen entlang der Achse so zu definieren, dass alle Änderungen der Randbedingungen (Sprünge und Knicke in Breiten, Änderungen im Aufbau etc.) erfasst werden. Diese Änderungen können mit dem, aus der konventionellen Planung kommenden, regelmäßigen Profilabstand von 25 m nicht abgedeckt werden. Durch die Definition eines stationsunabhängigen Deckenbuches über Breiten- und Rampenbänder ist man von diesen Querprofilen unabhängig und kann an jeder beliebigen Station neue Querprofile berechnen.

Während die IFC-Schnittstelle in Autodesk Revit sehr gut funktioniert, ist es mit dieser – für den Hochbau optimierten – Softwarelösung sehr schwer bis unmöglich unregelmäßige bzw. gekrümmte Elemente, wie sie im Tiefbau oft vorkommen, zu modellieren. Zwar können mit dem Bridge Modeller, einem Add-on von Sofistik, Querschnitte entlang von Achsen gesweept werden, die Funktionalitäten einer vollwertigen 3D-Modellierungssoftware sind dadurch jedoch noch immer nicht gegeben. Weiters gestaltet sich die korrekte lagemäßige Einrichtung des Modells in Autodesk Revit als schwierig. In Autodesk Civil 3D funktionieren wiederum die Modellierung und die Verortung sehr gut, ein IFC-Export von gekrümmten Objekten ist jedoch nicht möglich. Abhilfe zu diesem Problem schafft der Export des Modells im CPIXML-Format.

4.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Im folgenden Abschnitt werden die im Vorfeld dieser Arbeit festgelegten Forschungsfragen beantwortet.

Welche Rollen sind für die Ausarbeitung der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) für ein Infrastrukturprojekt erforderlich?

Jedes Bauprojekt ist sowohl in seiner Architektur als auch in der Konstellation der Projektbeteiligten einzigartig. Für die Bearbeitung des vorliegenden Projektes wurden die Rollen BIM-Manager, BIM-Gesamtkoordinator, BIM-Fachkoordinator und BIM-Modeller identifiziert. Weil ein Bauprojekt entlang seiner Wertschöpfungskette von einer Vielzahl von Beteiligten bearbeitet wird, kommt der zentralen Steuerung des Informationsflusses zwischen diesen eine besondere Rolle zu. Diese Aufgabe obliegt dem Bauherrn bzw. der Bauherrenvertretung. Für die Anwendung der BIM-Methodik bedeutet das konkret, dass auf Auftraggeberseite Stellen eingerichtet werden müssen, die das Ausmaß der Nutzung von BIM in einem Projekt definieren und die Einhaltung der festgelegten Maßnahmen überprüfen. Diese Rolle wird auch als BIM-Manager auf Auftraggeberseite bezeichnet. Sein Gegenüber ist der BIM-Manager auf Auftragnehmerseite. Zusammen sind sie für die Erstellung einer Strategie zur Erfüllung der BIM-Ziele und BIM-Anwendungsfälle der AIA und die Definition der Anforderungen an den Detaillierungsgrad (LOG) und den Informationsgehalt (LOI) verantwortlich. Die nächste Rolle ist die des BIM-Gesamtkoordinators. Zu seinen Aufgaben zählen unter anderem die Aufteilung der Fachmodelle und damit die Definition einer Modellstruktur, die Modellkoordination und die Modellprüfung. Zuletzt wird in den jeweiligen Fachdisziplinen in die Rollen BIM-Fachkoordinator und BIM-Modeller unterschieden. Während letzteren die Aufgabe der Modellerstellung und Informationshaushaltung zukommt, sind die BIM-Fachkoordinatoren für das Erstellen eines in sich geschlossenen Fachmodells verantwortlich.

Welche Kompetenzen müssen Fachplaner mitbringen, um die Modellierung für ein Tiefbauvorhaben vornehmen zu können?

Unter den Kompetenzen der Fachplaner werden die Fähigkeiten verstanden, die von Nöten sind um ein den Anforderungen entsprechendes Fachmodell zu liefern. Die Wahl einer geeigneten Softwarelösung spielt dabei eine große Rolle. Neben der korrekten dreidimensionalen Modellierung der Volumenkörper bzw. Trassenkörper müssen die generierten Modelle richtig verortet sein. Passen die Modelle bei der Koordination nicht zusammen, so kann keine Modellprüfung vom BIM-Gesamtkoordinator durchgeführt werden. Weil ein 3D-Modell allein noch kein intelligentes Modell ausmacht und das I in BIM bekanntlich für „Information“ steht, ist es notwendig die generierten Volumenkörper mit Informationen zu befüllen. Dieser Vorgang der Attributierung hat in der vom Fachplaner verwendeten BIM-Autorensoftware zu erfolgen. Weiters liegt es im Verantwortungsbereich des Fachplaners eine – falls möglich – normgerechte Mengenermittlung durchzuführen und die Ergebnisse in Form von Attributen an die Objekte anzuheften. Weil eine vollständige Bauausführung rein auf Basis des Modells bzw. eine Planableitung aus dem Gesamtmodell mit dem jetzigen Stand der Technik nur bedingt möglich ist, müssen die Fachplaner zusätzlich zu den Modellen Ausführungspläne liefern. Dieser Vorgang hat optimalerweise durch eine automatisierte Planableitung aus dem Modell zu geschehen, weil sonst dieselben Probleme auftreten wie in der konventionellen Planung.

Wie muss die Organisation der Projektbeteiligten aussehen, um ein solches Projekt abzuwickeln?

Unter Organisation der Projektbeteiligten ist das Zusammenspiel der unterschiedlichen Rollen zur bestmöglichen Abwicklung eines Bauprojektes zu verstehen. Um dies zu bewerkstelligen ist eine intensive Abstimmung zwischen allen Projektbeteiligten von großer Bedeutung. Dem BIM-

Gesamtkoordinator kommt dabei als Bindeglied zwischen den einzelnen Fachplanern eine große Verantwortung zu.

Der Ablauf des Planungsprozesses beginnt bei der Modellerstellung durch die BIM-Modeller. Diese sind neben der geometrischen Modellierung für die Attributierung der Teilmodelle in der BIM-Autorensoftware zuständig. Der BIM-Fachkoordinator erzeugt aus diesen Teilmodellen ein konsolidiertes Fachmodell und übergibt dieses in einem Data Drop auf der gemeinsamen Datenumgebung (CDE) an den BIM-Gesamtkoordinator. Dieser prüft die einzelnen Fachmodelle auf Kollisionsfreiheit und Vollständigkeit hinsichtlich alphanumerischer Informationen (Modellprüfung) und führt sie zu einem Koordinationsmodell zusammen (Modellkoordination). Anschließend werden etwaige Konflikte in einer Koordinations Sitzung direkt am Modell besprochen und Aufgaben für deren Behebung an die Fachplaner vergeben. Diese haben die Änderungen bis zur nächsten Datenübergabe einzuarbeiten und der Workflow beginnt von vorne.

Wie weit sind die Ergebnisse des BIM-VIF Projektes für die Verwendung im Tiefbau anwendbar?

Der aktuelle IFC-Standard ist hinsichtlich seiner räumlichen Struktur für den Hochbau optimiert. Für den Infrastrukturbereich gibt es noch keine derartig standardisierte Datenstruktur. Aus diesem Grund wurde in Österreich unter Einbeziehung der Verkehrsinfrastrukturbetreiber das BIM-VI Forschungsprojekt ins Leben gerufen. Es hatte die Entwicklung von Datenstrukturen – im Bereich Straße und Schiene – sowie die Erarbeitung von Grundlagen für die Entwicklung des IFC5 Standards zur Aufgabe. Das Ergebnis waren ein Bericht, der die gesamte Datenstruktur dokumentiert und Attributvorschläge für die Elementtypen abgibt, und ein Struktogramm, welches zur Darstellung der Zusammenhänge der einzelnen Komponenten der Struktur dient.

Die im Rahmen des BIM-VIF Projektes erarbeiteten Ergebnisse bilden eine gute Grundlage für die Bearbeitung eines Infrastrukturbauvorhabens. Bis eine einheitliche Datenstruktur für den Tiefbau definiert ist, kann das Struktogramm durchaus für das Aufsetzen einer Modellstruktur herangezogen werden. Weiters sind die im Ergebnisbericht vorgeschlagenen Attribute für die einzelnen Elementklassen ein guter Ausgangspunkt für den Informationsgehalt den ein Planungsmodell aufweisen sollte. Für die weiteren Phasen, in denen ein höherer Level of Information gefordert wird, müssen diese Attribute jedoch ergänzt werden.

Inwiefern sind die Industry Foundation Classes (IFC) im Infrastrukturbereich anwendbar und wie steht es um die Gebrauchstauglichkeit der IFC-Schnittstelle bezogen auf den Open BIM Gedanken?

Die Anwendbarkeit der Industry Foundation Classes ist im Infrastrukturbereich noch beschränkt. Mit der aktuellen Version 4.1.0.0 (IFC-Alignment) ist es möglich, Achsen von Infrastrukturbauten als Kombination von horizontalen und vertikalen Trassierungselementen zu übergeben. Eine Übergabe von 3D-Trassenkörper ist jedoch noch nicht möglich. Grund dafür ist die fehlende Definition einer gemeinsamen Datenstruktur für den Infrastrukturbereich. Bevor ein solches allgemeines Datenschema für den Infrastrukturbereich definiert ist muss also noch auf proprietäre Formate zurückgegriffen werden. Die Übergabeformate für die einzelnen Teilmodelle des vorliegenden Projektes sind in Abbildung 3.9 dargestellt. Geländemodelle und Achsen können zwar im ebenfalls offenen LandXML-Format übergeben werden, für Linienbauwerke aus Trassierungssoftwarelösungen und Objekte mit Achsenbezug (gekrümmt) muss man jedoch auf das halb-offene CPIXML-Format zurückgreifen. Damit kann der Open BIM Gedanke innerhalb eines Projektes also noch nicht gelebt werden. Nach außen hin ist dies jedoch durch die Ernennung eines BIM-Gesamtkoordinators, der die einzelnen Fachmodelle in einer geeigneten Koordinationssoftware

zusammenführt und konsolidiert ausgibt, möglich. Dazu müssen die Modellelemente in die aus dem Hochbau bekannte IFC-Struktur nach Abschnitt 3.2.1 eingearbeitet werden.

Wo liegen die Möglichkeiten und Mehrwerte, die sich durch die Nutzung der BIM-Methode für ein Infrastrukturbauvorhaben ergeben?

Durch die Anwendung der BIM-Methode sollen die Defizite des konventionellen Bauprozesses weitgehend ausgemerzt werden. So kommt es sowohl innerhalb einer Phase, als auch zwischen den unterschiedlichen Phasen eines Bauprojektes noch häufig zu Informationsbrüchen. Gründe dafür sind unter anderem der Austausch von analogen bzw. nicht kompatiblen digitalen Daten, das Wegfiltern von Informationen sowie das bewusste Zurückhalten von Informationen. Die Durchgängigkeit in einem BIM-Projekt wird hingegen durch die Erstellung und Fortschreibung eines gemeinsam genutzten Modells gewährleistet. Die Projektbeteiligten arbeiten in jeder Phase auf ein gemeinsames Gesamtmodell (z.B. Planungsmodell, Ausführungsmodell etc.) hin. Dieses Modell dient samt aller verknüpften Informationen als Ausgangspunkt für die nächste Projektphase.

Durch die reine Betrachtung eines Straßenbauwerks in drei Ansichten, wie es bei der konventionellen Trassenplanung der Fall ist, können bei Änderungen in einer Ebene Konflikte in einer anderen Ansicht auftreten ohne dass diese bemerkt werden. Visualisiert man das Bauwerk in 3D, so können etwaige Konflikte frühzeitig erkannt und Änderungen eingearbeitet werden. Das Modell ist dabei für alle Projektbeteiligten immer auf dem letzten Stand und eine widerspruchsfreie Planableitung aus dem Modell wird möglich. Durch die Erstellung von Bauablaufsimulationen können Zwischenbauzustände noch vor Baubeginn untersucht und somit mögliche Konflikte zwischen den Gewerken erkannt werden. Schließlich ist eine sehr genaue Mengenermittlung auf Grundlage des Modells möglich, welche wiederum als Basis für die Erstellung des Ausschreibungsleistungsverzeichnisses dient.

Für die Erstellung eines Brückenentwurfs dient die zuvor geplante Trasse als Grundlage. In der konventionellen Detailplanung werden die Ansichten (Grundriss, Querschnitt, Längsschnitt) unabhängig von der geplanten Trasse generiert. Die Punkte werden unter Berücksichtigung des Längs- und des Quergefälles händisch berechnet und in die jeweiligen Schnitte eingetragen. Kommt es zu Änderungen, so müssen diese in mühsamer Handarbeit eingearbeitet werden. Dieser Vorgang ist äußerst zeitaufwendig und fehleranfällig und kann durch die parametrische Modellierung und anschließende Planableitung vollständig ersetzt werden.

4.3 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Softwarelösungen

Zurzeit kommt es an der Schnittstelle zwischen Modellen, die aus einer Trassierungssoftware und Modellen, die aus klassischen Hochbau-Softwarelösungen kommen noch zu Problemen. Bestes Beispiel ist im vorliegenden Projekt die Stützmauer M_S2.R3_L. Wie in Abschnitt 3.3.4 beschrieben ergeben sich durch die unregelmäßige Geometrie der Stützmauer Bereiche, die nur schwierig in einer Trassierungssoftware abgebildet werden können. Ähnliches gilt für die dreidimensionale Erfassung von Erdmengen, die keiner Trasse folgen. Die Entwicklung in Richtung einer durchgängigen Softwarelösung, die sowohl mit trassengebundenen, als auch trassenungebundenen Volumenkörpern umgehen kann wäre die logische Konsequenz aus dieser Schnittstellenproblematik. Die Vereinigung dieser beiden Welten könnte beispielsweise durch den Import von allgemeinen 3D-Objekten als Begrenzung für Elemente aus dem Querschnitt der Straße in eine Trassierungssoftware bewerkstelligt werden.

Während die automatisierte Planableitung für einzelne Fachmodelle in den BIM-Autorensoftwareprodukten bereits möglich ist, können mit dem jetzigen Stand der Technik keine Pläne aus dem Gesamtmodell abgeleitet werden. Die Entwicklung einer Softwarelösung, die Modelle dahingehend auswerten kann wäre demnach wünschenswert.

Bodenschichtenmodell

Um die Abtragspositionen korrekt nach dem LV erfassen zu können, muss das Bestandsgeländemodell in ein Bodenschichtenmodell überführt werden. Alternativ kann eine Modellierung der Abtragskörper in einer Trassierungssoftware (ähnlich zur Modellierung des Straßenoberbaus) vorgenommen werden. Für die Erfassung der unterschiedlichen Abtragspositionen kann dazu der Urgelände-Horizont in den Querprofilen parallel um die Stärken der Bodenschichten versetzt werden. Wie in Abschnitt 3.3.2 erläutert, handelt es sich bei den Querprofilen jedoch lediglich um eine Momentaufnahme des Geländes, was gewisse Ungenauigkeiten mit sich bringt. Die wesentlich genauere Methode wäre die dreidimensionale Modellierung in einer eigens dafür geschaffenen Softwarelösung (z.B. Geotechnical Module von Autodesk).

Normenlage

Für die sinnvolle Nutzung der BIM-Methode im Tiefbau ist es für die Mengenermittlung nach ÖNORM A 2063 erforderlich, die Berechnungsmethode anzupassen. Wie in Abschnitt 2.5.2 beschrieben erfolgt die Berechnung der Mengen durch Multiplikation der Querschnittsfläche in einer Station mit dem halben Achsabstand zur vorangehenden bzw. darauffolgenden Station. Die Trassenkörper (3D-Volumenkörper) werden im Gegensatz dazu in den gängigen Trassierungssoftware-Produkten zwischen zwei Stationen generiert. Dies entspricht einer Berechnung nach REB-VB 21.013, bei der die beiden Flächen zweier aufeinander folgender Stationen gemittelt und mit deren Abstand multipliziert werden. Zwar ist es in RIB iTWO civil möglich die Mengen lt. ÖNORM zu berechnen und an die generierten Trassenkörper anzuheften, die Volumina dieser stimmen dann jedoch nicht mit den berechneten Mengen überein.

Datenstrukturen

Wie in Abschnitt 3.9 festgehalten ist es mit dem aktuellen IFC-Standard (4.1) nicht möglich 3D-Trassenkörper zu übergeben. Grund dafür ist die fehlende Definition einer gemeinsamen Datenstruktur für den Infrastrukturbereich. Die Domänen Straße, Schiene, Brücke und Tunnel befinden sich zwar schon in Entwicklung, bis diese den Status einer Norm erreichen, müssen die Modelle jedoch noch über andere Formate ausgetauscht werden.

Vergütungsmodelle

Für die Nutzung der BIM-Methode muss ein umfassendes digitales Modell erstellt werden. Dadurch kommt es zu einer Aufwandsverlagerung in die frühen Phasen eines Projektes. Dies führt zu höheren finanziellen Investitionen in diesen Phasen, wodurch sich – wie bereits in Abschnitt 2.2.3 erläutert – jedoch auch einige Vorteile ergeben. Um diese Vorteile auch in der Praxis umsetzen zu können müssen neue vertragliche Vereinbarungen für die Vergütung solcher Modelle getroffen werden. Weiters können Überlegungen für die Neugestaltung des konventionellen Bauprozesses angestellt werden. Beispielsweise wäre die Abwicklung in einem zweistufigen Verfahren, in dem die ausführenden Unternehmen in einem ersten Schritt in die Planung miteinbezogen werden (Ausschreibung und Vergabe der Planungsleistungen) und erst in einem zweiten

Schritt (erneute Ausschreibung und Vergabe) mit der eigentlichen Bauausführung betraut werden, denkbar. Möglicherweise könnte der zukünftige Bauprozess unabhängig von einem Leistungsverzeichnis geschehen. Dazu muss ein Umdenken für die Abwicklung eines Bauprojektes stattfinden und das aktuelle Bundesvergabegesetz hinterfragt werden.

5 Nachspann

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Softwarelandschaft	16
Abbildung 2.1: Bauwerkslebenszyklus (modifiziert nach Gaudart [23], S.8)	22
Abbildung 2.2: Informationsverluste über den Lebenszyklus (Quelle: Borrmann [3], S.3)	24
Abbildung 2.3: Einfluss auf Gestaltung und Kosten eines Gebäudes (Quelle: Borrmann [3], S.6) ..	25
Abbildung 2.4: DGM einer Baugrube ohne und mit Bruchkanten	32
Abbildung 2.5: Horizonte eines Erdkörpers (Quelle: REB-VB 22.013 [22], S.4)	34
Abbildung 2.6: Prisma unter dem Dreieck eines DGM (Quelle: REB-VB 22.013 [22], S.5)	35
Abbildung 2.7: Abrechnungsgebiet (modifiziert nach RIB Software SE [36], S.495)	36
Abbildung 2.8: Berechnungsbeispiel (modifiziert nach RIB Software SE [36], S. 496)	36
Abbildung 2.9: Unregelmäßiges n-Eck (modifiziert nach ÖNORM A 2063 [9], S.18)	37
Abbildung 2.10: Gerade Achse (modifiziert nach ÖNORM A 2063 [9], S.21)	37
Abbildung 2.11: Gekrümmte Achse (modifiziert nach ÖNORM A 2063 [9], S.22).....	38
Abbildung 2.12: Streckenberechnung (modifiziert nach REB-VB 21.033 [20], S.8)	40
Abbildung 2.13: Aufbau DA 40.....	44
Abbildung 2.14: Beispiel für das Datenformat 40.....	44
Abbildung 2.15: Aufbau Kurvenband – DA 50 (Quelle: REB-VB Allgemein [21], S.9)	44
Abbildung 2.16: Aufbau Gradiente – DA 21	45
Abbildung 2.17: Beispiel für das Datenformat 21	45
Abbildung 2.18: Aufbau DA 66.....	45
Abbildung 2.19: Beispiel für das Datenformat 66.....	45
Abbildung 3.1: Projektgebiet (modifiziert nach Stadt Wien [38]).....	47
Abbildung 3.2: Übersicht Rampen.....	48
Abbildung 3.3: Struktogramm (Quelle: Verkehrsinfrastrukturforschung Austria [40]).....	50
Abbildung 3.4: BIM-Rollen für das Projekt „ASst Hirschstetten“	52
Abbildung 3.5: Modellstrukturplan für das Projekt „ASst Hirschstetten“	53
Abbildung 3.6: Ausschnitt der Bauwerkstruktur für den IFC-Export.....	54
Abbildung 3.7: Schnittstelle 1 Streckenmodell-Bauwerksmodell.....	55
Abbildung 3.8: Schnittstelle 2 Bauwerksmodell-Streckenmodell.....	56
Abbildung 3.9: Datenformate für den Informationsaustausch.....	57
Abbildung 3.10: DGM im Kreuzungsbereich - unbearbeitet.....	59
Abbildung 3.11: Vermessungsdaten Angst ZT.....	60
Abbildung 3.12: Bestands-DGM mit eingearbeiteten Vermessungsdaten im Kreuzungsbereich.....	60
Abbildung 3.13: Gelände Neubau mit eingearbeitetem Planum.....	61
Abbildung 3.14: Grabenaushub im Dammbereich	62
Abbildung 3.15: Vergleich der beiden Methoden zur DGM-Erstellung	63
Abbildung 3.16: Schnittstelle Stützmauer	64
Abbildung 3.17: Abtrag und Baugrubenaushub im Bereich der Stützmauer	64
Abbildung 3.18: Modellstrukturplan für die Teilmodelle Auftrag und Abtrag	65
Abbildung 3.19: Erdbaumodell	66
Abbildung 3.20: Begrenzungslinien und Querschnittsfläche (Quelle: REB-VB 21.013 [19], S.9)...	70
Abbildung 3.21: Beispiel für die Querschnittsflächen im Einschnittbereich	71
Abbildung 3.22: Beispiel für die Querschnittsflächen im Dammbereich.....	71
Abbildung 3.23: Modellstrukturplan für das Teilmodell Straßenentwässerung.....	72
Abbildung 3.24: Modellstrukturplan für das Teilmodell Straßenausstattung	73
Abbildung 3.25: Streckenmodell	73
Abbildung 3.26: Modellstrukturplan für das Teilmodell Brückenbauwerk.....	74
Abbildung 3.27: Brückenüberbau	76
Abbildung 3.28: Widerlager Nord – WL10.....	76
Abbildung 3.29: Pfeiler PF20	77

Abbildung 3.30: Widerlager Süd – WL30	78
Abbildung 3.31: Modellstrukturplan für das Teilmodell Brückenentwässerung	78
Abbildung 3.32: Modellstrukturplan für das Teilmodell Brückenausstattung	79
Abbildung 3.33: Stützmauer	79
Abbildung 3.34: Wien Kanal im Bereich des Brückenbauwerks	81
Abbildung 3.35: Übergang Trennstreifen - Schrammbord	82
Abbildung 3.36: Kollision Straßenentwässerung - Bestandsleitungen	84
Abbildung 3.37: Beispiel für zwei Trassenkörper	87
Abbildung 3.38: Brückenbauwerk nach IFC-Export aus Autodesk Civil 3D	89

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Attribute für das Projekt „ASt Hirschstetten“	58
Tabelle 3.2: Stationstabelle aus der konventionellen Planung	67
Tabelle 3.3: Stationstabelle nach Einarbeitung aller Randbedingungen	68
Tabelle 3.4: Stationstabelle Brückenbauwerk	75
Tabelle 3.5: Vergleich der Methoden zur Bestimmung von Erdmengen	86
Tabelle 3.6: Vergleich der Berechnung über Querprofile und der Berechnung aus Horizonten	86
Tabelle 3.7: Vergleich der Modellmengen	87

5.3 Literaturverzeichnis

- [1] Acht Ziviltechniker GmbH: AIA - Ast Hirschstetten - Rampe 3: Auftraggeber-Informationsanforderungen, 2019.
- [2] André Borrman, Bernhard Strackenbrock, Claus Plank, Dieter Stumpf, Frank Neuberger, Gerd Hirzinger, Hanno Posch, Johannes Wimmer, Karin H. Popp, Markus Pfitzner, Markus Schorr, Mathias Obergrießer, Matthias Frei, Norbert Vogt, Rudolf Juli, Rupert Reif, Sabine Steinert, Thomas Euringer, Thomas Liebich, Tim Horenburg, Tobias Baumgärtel, Wolfgang Stockbauer, Yang J: Integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen. In: Digitale Baustellennovativier Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, *Berlin, Heidelberg*, 2011, S.23–117.
- [3] André Borrman, Markus König, Christian Koch, Jakob Beetz: Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. VDI-Buch, Springer Vieweg, *Wiesbaden*, 2015.
- [4] Andreas Kern: Informationsmanagement im BIM-Prozess von der Planung, über den Baubetrieb bis zum Facility Management, Diplomarbeit an der TU Wien, 2019.
- [5] ASFINAG Bau Management GmbH: A 23 Autobahn Südosttangente Wien S2 Wiener Nordrand Schnellstraße: Umbau Anschlussstelle Hirschstetten, Brücke B_S2.R3 Technischer Bericht, 2019.
- [6] ASFINAG Bau Management GmbH: A 23 Autobahn Südosttangente Wien S2 Wiener Nordrand Schnellstraße: Umbau Anschlussstelle Hirschstetten, Technischer Bericht Straße, 2019.
- [7] Austrian Standards: ÖNORM B 2114:1996-9-01: Vertragsbestimmungen bei automationsunterstützter Abrechnung von Bauleistungen, 1996.
- [8] Austrian Standards: ÖNORM A 6241-2:2015-07-01: Digitale Bauwerksdokumentation - Teil 2: Building Information Modeling (BIM) - Level 3-iBIM, 2015.

- [9] Austrian Standards: ÖNORM A 2063:2015-07-15: Austausch von Leistungsbeschreibungs-, Elementkatalogs-, Ausschreibungs-, Angebots-, Auftrags- und Abrechnungsdaten in elektronischer Form, 2015.
- [10] Autodesk Inc: Autodesk® Civil 3D® CPIXML Exporter: Dokumentation, 2019.
- [11] BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: *Koordinatensysteme*, 2006. URL: http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0200_PRODUKTE/PDF/KOORD-SYS.PDF (Zugriff am 19.01.2020).
- [12] buildingSMART Germany: *BIM-Knowhow: Standards*. URL: <https://www.buildingsmart.de/bim-knowhow/standards> (Zugriff am 15.09.2019).
- [13] buildingSMART International: *BIM Collaboration Format (BCF) - An Introduction*. URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/> (Zugriff am 04.01.2020).
- [14] buildingSMART International: *Current Projects and Activities*. URL: <https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/infrastructure/> (Zugriff am 05.01.2020).
- [15] buildingSMART International: *IFC Release Notes*. URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes/> (Zugriff am 05.01.2020).
- [16] buildingSMART International: *Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction*. URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> (Zugriff am 04.01.2020).
- [17] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Reformkommission Bau von Großprojekten: Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient*, 2015. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff am 28.02.2020).
- [18] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken*, 2015. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.html> (Zugriff am 02.09.2019).
- [19] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau: *REB-Verfahrensbeschreibung 21.013: Massenberechnung zwischen Begrenzungslinien*, 1979. URL: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Regelwerke/V-REB-VB/REB-VB-Inhalt.html (Zugriff am 02.10.2019).
- [20] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau: *REB-Verfahrensbeschreibung 21.033: Oberflächenberechnung aus Querprofilen*, 1979. URL: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Regelwerke/V-REB-VB/REB-VB-Inhalt.html (Zugriff am 02.10.2019).
- [21] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau: *Allgemeine Bedingungen für die Anwendung der REB-Verfahrensbeschreibungen*, 2012. URL: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Regelwerke/V-REB-VB/REB-VB-Inhalt.html (Zugriff am 02.10.2019).
- [22] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau: *REB-Verfahrensbeschreibung 22.013: Rauminhalte und Oberflächen aus Prismen*, 2012. URL: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Regelwerke/V-REB-VB/REB-VB-Inhalt.html (Zugriff am 13.11.2019).
- [23] Dario Gaudart, Reinhold Hödl, Peter Iff, Markus Ott, Josef Weber: *BIM in der Praxis: Fokus Tiefbau und Infrastruktur*, TU-MV Media Verlag GmbH, Wien, Österreich, 2017.
- [24] Florian Funke, Manfred Schmid, Reinhard Böllmann: *Bayerischer Kommunalen Prüfungsverband - Geschäftsbericht 2006: Elektronische Bauabrechnung unter Verwendung digitaler*

- Geländemodelle*. URL: http://www.bkpv.de/ver/pdf/gb2006/funke_schmid_boellmann.pdf (Zugriff am 30.11.2019).
- [25] Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr: Regelblätter zur Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur, Version 005: Regelblatt 19.01-1, 2018.
- [26] Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen: Verfahrensbeschreibungen für die elektronische Bauabrechnung: GAEB-VB, Beuth, *Berlin*, 1998.
- [27] Gerald Goger, Wilhelm Reismann: Roadmap Digitalisierung: von Planen, Bauen und Betreiben in Österreich, TU-MV Media Verlag, *Wien*, 2018.
- [28] HAVELLANDAUTOBAHN GmbH & Co. KG: BIM-Abwicklungsplan für Planung, Ausführung und Erhaltung im Projekt ÖPP A10/ A24.
- [29] Helmut Vonhoegen: XML: Einstieg, Praxis, Referenz, 9., aktualisierte Auflage, Rheinwerk Verlag, *Bonn*, 2018.
- [30] International Organization for Standardization: ISO 19148:2012: Geographic information - Linear referencing, 2012.
- [31] International Organization for Standardization: ISO 16739-1:2018-11: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - Part 1: Data schema, 2018.
- [32] Julian Amann, André Borrman: Open BIM for Infrastructure. In: Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen: 6. OKSTRA-Symposium : Symposium am 20. und 21. Mai 2015 in Köln, FGSV Verlag GmbH, *Köln*, 2015.
- [33] Kai-Stefan Schober, Philipp Hoff: Digitalisierung der Bauwirtschaft: Der europäische Weg zu "Construction 4.0", Roland Berger GmbH, Competence Center Civil Economics, Energy & Infrastructure, *München*, 2016.
- [34] Kevin Bauer: Begriffe zu BIM und Digitalisierung: Terminology for BIM and Digitalisation, TU-MV Media Verlag, *Wien*, 2018.
- [35] Nicole Pfersche: Prozessdarstellung der konventionellen Bauabrechnung im Baubetrieb mit BIM, Diplomarbeit an der TU Wien, 2019.
- [36] RIB Software SE: iTWOcivil Straßenbau, Tiefbau & Infrastrukturmanagement: iTWOcivil Benutzerhandbuch, 2019.
- [37] RIB Software SE: RIB iTWO civil 2019: Infrastruktur Kanal, Rohrgrabenabrechnung, 2019.
- [38] Stadt Wien: Geodaten Viewer der Magistratsabteilung 41 (MA41).
- [39] Tobias Baumgärtel, André Borrman, Willibald A. Günthner, Rudolf Juli, Cornelia Klaubert, Erhard Lederhofer, Jürgen Mack, Uwe Willberg: Bauen heute und morgen. In: Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, *Berlin, Heidelberg*, 2011, S.1–22.
- [40] Verkehrsinfrastrukturforschung Austria, 2016: *BIM VI: Datenstruktur für Verkehrsinfrastruktur*.
- [41] Wilfried Grupe: XML: Grundlagen, Technologien, Validierung, Auswertung, 1. Auflage, mitp, *Frechen*, 2018.

5.4 Anhang

Ein Großteil der vorliegenden Arbeit liegt in der Modellierung eines Teilbereichs des Projektes „Anschlussstelle Hirschstetten“ und der Definition einer entsprechenden Modellstruktur. Die generierten Modelle liegen sowohl im nativen Format, als auch in den, in Abschnitt 3.2.3 festgehaltenen Übergabeformaten in Form eines digitalen Anhangs bei.