

Diplomarbeit

Effiziente Attribuierung und Auswertung von Attributen von Verkehrsanlagen-Modellen vor dem Hintergrund von Änderungen, Bauablauf sowie Mengen- und Kostenermittlung

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von: cand. ing. **H e i n l , R a p h a e l** Geb. am 10.06.2003

Verkehrssystemtechnik
Studienschwerpunkt Verkehrstechnik und -anlagen

Ausgegeben von:	Prof. Dr.-Ing. Elena Queck
Erstbetreuer/Zweitbetreuer:	Prof. Dr.-Ing. Elena Queck/ Prof. Dr.-Ing. Felix Rudolph
Auftraggeber:	Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen GmbH
Betreuer des Auftraggebers:	Dipl.-Ing. Anja Kowollik

Inhalt

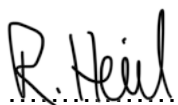
I.	Verzeichnis der Bilder	III
II.	Verzeichnis der Tabellen	VI
III.	Verzeichnis der Anlagen.....	VII
IV.	Verzeichnis der Kurzzeichen.....	VIII
1	Einleitung	1
1.1	Einführung und Problemstellung	1
1.2	Ziele der Arbeit	1
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Theoretische Grundlagen.....	4
2.1	Building Information Modeling	4
2.1.1	Ausgangssituation	4
2.1.2	Begriffsdefinition	6
2.1.3	Grundsätze und Ziele	6
2.1.4	Stand der Einführung der BIM-Methode in Deutschland.....	9
2.2	BIM-Anforderungsmanagement	11
2.2.1	Auftraggeber-Informations-Anforderungen	12
2.2.2	BIM-Abwicklungsplan	12
2.2.3	Anwendungsfälle	14
2.3	BIM-Datenmanagement	15
2.3.1	Datenformate	17
2.3.2	Common Data Environment	18
2.4	Ausarbeitungsgrade	19
2.4.1	Ausarbeitungsgrad - Level of Development.....	19
2.4.2	Geometrische Detaillierungsgrad – Level of Geometry	21
2.4.3	Alphanummerische Detaillierungsgrad – Level of Information	22
3	Autorensoftware und Fallbeispiele	23
3.1	Verwendete Autorensoftware.....	23
3.1.1	Card_1	23
3.1.2	DESITE BIM	24
3.2	Fallbeispiele	26
3.2.1	Fallbeispiel 1 – Attribuierung und Modellprüfung	26
3.2.2	Fallbeispiel 2 – Bauablauf, Mengen- und Kostenermittlung	27
4	Attribuierung von Bauwerksmodellen.....	28

4.1	Attribute	28
4.2	Modellerzeugung im neuen Straßenentwurf.....	28
4.3	Implementierung eines effizienten Arbeitsablauf	30
4.3.1	Ausgangssituation	30
4.3.2	Vorgehensweise	33
4.4	Anwendung	45
5	Regelbasierte Modellprüfung	48
5.1	Ausgangssituation	48
5.1.1	Manuelle Modellprüfung	48
5.1.2	Ziel.....	49
5.2	Entwicklung der Prüfregeln.....	50
5.2.1	Ableitung der Prüfläufe	50
5.2.2	Implementierung in DESITE	51
5.3	Anwendung von Prüfregeln für zwei Modellvarianten.....	54
5.3.1	Modellvariante 1	55
5.3.2	Modellvariante 2	61
6	Bauablauf.....	64
6.1	Anwendungsfall 120	64
6.2	Vorgehensweise	65
6.2.1	Bauablauf	66
6.2.2	Implementierung in DESITE BIM	68
7	Mengen- und Kostenermittlung	73
7.1	Anwendungsfall 100	73
7.2	Vorgehensweise	74
7.2.1	Mengenermittlung	75
7.2.2	Kostenermittlung.....	79
8	Ausblick.....	82
9	Zusammenfassung	84
10	Literatur.....	86

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Mir ist bewusst, dass ich Raphael Heidl der vorliegenden Arbeit bin und volle Verantwortung für den Text trage. Ich erkläre, dass ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken – dazu gehören auch Internetquellen – übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht und die entsprechenden Quellen angegeben habe. Mir ist bewusst, dass meine Arbeit auf Plagiate überprüft werden kann. Mir ist bekannt, dass es sich bei der Abgabe eines Plagiats um ein schweres akademisches Fehlverhalten handelt und dass Täuschungen nach der für mich gültigen Prüfungsordnung geahndet werden.

Zusätzlich versichere ich, dass ich auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Werkzeuge nur in Absprache mit den Prüfern verwendet habe. Dabei stand meine eigene geistige Leistung im Vordergrund, und ich habe jederzeit den Prozess steuernd bearbeitet. Diese Werkzeuge habe ich im Quellenverzeichnis in der Rubrik „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ mit ihrem Produktnamen und einer Übersicht des im Rahmen dieser Diplomarbeit genutzten Funktionsumfangs unter Angabe der Textstelle in der Arbeit vollständig aufgeführt. Ich versichere, dass ich keine KI-basierten Tools verwendet habe, deren Nutzung die Prüfer explizit schriftlich ausgeschlossen haben. Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate.



.....

Raphael Heidl, 13.04.2026

Abstract

This diploma thesis investigates the efficient attribution and evaluation of attributes in transportation infrastructure models within the framework of Building Information Modeling (BIM). The study is motivated by practical challenges observed in engineering practice, particularly at IBV GmbH, where manual attribution processes are time-consuming and prone to errors. These inefficiencies negatively affect data quality and limit the usability of BIM models for downstream applications such as construction scheduling, quantity take-off, and cost estimation.

The primary objective of this research is to analyze existing workflows and to develop approaches for improving efficiency in attribute management. The study combines theoretical foundations of BIM with practical investigations based on real infrastructure projects. The software tools card_1 (for model creation and attribution) and DESITE BIM (for model checking and evaluation) are used to examine and optimize the processes.

The results demonstrate that significant efficiency gains can be achieved through structured model hierarchies, standardized attribute definitions, and the systematic use of inheritance mechanisms. Furthermore, the implementation of automated processes such as rule-based model checking offers substantial potential for reducing manual effort and increasing data consistency. The findings highlight that the quality of attribute assignments is a critical factor influencing the effectiveness of subsequent BIM-based applications.

In conclusion, the thesis provides practical, application-oriented solutions for improving attribution workflows in infrastructure projects. It demonstrates how the targeted use of standardization and automation can enhance the overall efficiency and reliability of BIM processes, thereby supporting the ongoing implementation of BIM methodologies in engineering practice.

I. Verzeichnis der Bilder

Bild	Titel	Seite
1	Produktivitätsentwicklung in Deutschland seit 1991	4
2	Informationsverlust in der herkömmlichen Projektbearbeitung	5
3	Lebenszyklus des Bauwerkmodells	7
4	Vergleich des Planungsaufwands zwischen BIM-gestützter und konventioneller Planung	8
5	Phasenmodell des BIM-Masterplan für Bundesfernstraßen	10
6	BIM-Rollen und deren Aufgaben	13
7	Breite des BIM-Einsatzes	16
8	Versionsgeschichte des IFC-Standards	17
9	Vergleich Informationsaustausch ohne CDE und mit CDE	19
10	Zusammenhang zwischen LOD und Leistungsphasen	20
11	LOG am Beispiel einer Einmündung	21
12	Programmoberfläche der Autorensoftware card_1	24
13	Programmoberfläche DESITE BIM	25
14	BIM-Modell aus dem NSE	29
15	Fachobjektstruktur	31
16	Aufbau eines Ergebnismodells	31
17	Neues Attribut im Fachobjekt Deckschicht anlegen	32
18	Manuell angelegtes Attribut "Material"	33
19	Auszug aus der Mindestattributliste der Autobahn GmbH	34
20	Pset 2 Attribute für Objekttyp Deckschicht	35
21	Nebenattributkataloge anlegen	35
22	Neuen Datentyp definieren	36
23	Datentypen Bauteilinformation_Strasse und Klassifizierung	36
24	Attribute des Datentyps Klassifizierung	37
25	Attributdefinition bearbeiten und konfigurieren	38

26	Neue Attributdefinition mit Datentyp anlegen	40
27	Attributdefinition mit Datentyp für das Pset Klassifizierung	41
28	Auszug der von card_1 erzeugten Objektarten (Pset 1)	42
29	Ausgewählte Objektarten für das Pset 1	43
30	Objektartspezifische Vorbelegung am Beispiel der Deckschicht	44
31	Auswahl des Modellelement im Ergebnismodell	45
32	Automatische Attribuierung des Psets Klassifizierung	45
33	Vorbelegung der Attribute	46
34	Auswahl von zulässigen Werten	47
35	Modellelement mit Datenblatt	48
36	Titelleiste der Modellprüfung	51
37	Modellprüfung-Menü	51
38	Prüfläufe Klassifizierung und Bauteilinformationen_Strasse	52
39	Modellprüflaufkonfiguration Klassifizierung	52
40	Modellprüflaufkonfiguration Bauteilinformation	54
41	Projektstruktur des Modells	54
42	IFC-Modell des Geh- und Radweges Variante 1	55
43	Prüfmenge und Projektstruktur	55
44	Ergebnisse des Prüflaufs Klassifizierung	56
45	Prüfmodell nach dem Prüflauf Klassifizierung	57
46	Ergebnisse sortiert nach Prüfstatus	57
47	Prüfberichte ausgeben	58
48	Aufbau eines Prüfberichts	58
49	Ergebnisse des Modellprüflauf „Bauteilinformation_Strasse“ der Variante 1	59
50	Grafische Darstellung des Modellprüflauf Bauteilinformation_Strasse	60
51	Prüfmenge der Variante 2	61

52	Ergebnisse des Modellprüflauf Klassifizierung der Variante 2	61
53	Ergebnisse des Modellprüflauf „Bauteilinformationen_Strasse“ der Variante 2	62
54	Info über geprüfte Elemente	62
55	Projektstruktur des Fallbeispiel 2	65
56	Struktur des Bauablauf	68
57	Verknüpfungsregel zwischen Eigenschaft ResourceNames und Attribut Infra_QTODescription	70
58	Bauablaufplan mit verknüpften Modellelementen	71
59	Auszug aus der Bauablaufsimulation	72
60	Projektspezifische Basisattributliste	74
61	Erstellen eines LV in DESITE	75
62	Neue Eigenschaft KBKNR erzeugen	76
63	Verknüpfungsregel QTO_KBKNR	77
64	LV mit zugeordneten Mengenattributen	77
65	Abgeschlossene Mengenermittlung	79
66	Eigenschaften EP und GP	80
67	LV-Gesamt	81

II. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle	Titel	Seite
1	Produktivitätsentwicklung in Deutschland seit 1991	14
2	Informationsverlust in der herkömmlichen Projektbearbeitung	20
3	Pset 1 Werte für Objekttyp Deckschicht	34
4	Farbzuordnung der Prüfstatuswerte	60
5	Anordnungsbeziehungen der Vorgänge	66
6	Herleitungen der Mengen aus dem Fachmodell	78

III. Verzeichnis der Anlagen

Anlage	Titel
1	Fallbeispiel 1: Lageplan Geh- und Radweg Variante 1
2	Fallbeispiel 1: Lageplan Geh- und Radweg Variante 2
3	Fallbeispiel 2: Lageplan BAB 14 Blatt 1
4	Fallbeispiel 2: Lageplan BAB 14 Blatt 2
5	Attribute des Property Sets „Klassifizierung“
6	Attribute des Property Sets „Bauteilinformation_Strasse“
7	Ablaufdiagramm der effizienten Attribuierung
8	Ablaufdiagramm der Modellprüfung
9	Terminplan aus MS Project
10	Ablaufdiagramm der Mengenermittlung
11	Ablaufdiagramm der Kostenermittlung

IV. Verzeichnis der Kurzzeichen

Kurzzeichen	Bedeutung
BIM	Building Information modeling
IFC	Industry Foundation Classes
BCF	BIM Collaboration Format
BASt	Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
MR BIM	Musterrichtlinien BIM
HE BIM	Handlungsempfehlungen BIM
AIA	Auftraggeber-Informationen-Anforderungen
Awf	Anwendungsfälle
BAP	BIM-Abwicklungsplan
CDE	Common Data Environment
DMS	Datenmanagementsystem
LOD	Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
BAB	Bundesautobahn
B	Bundesstraße
AS	Anschlussstelle
IBW	Ingenieurbauwerk
Psets	Property Sets
LV	Leistungsverzeichnis
AKVS	Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen
KBK-Nr	Kostenberechnungskatalognummer

ME	Mengeneinheit
EP	Einheitspreis
GP	Gesamtpreis

1 Einleitung

1.1 Einführung und Problemstellung

Eine moderne und leistungsfähige Infrastruktur stellt eine zentrale Voraussetzung für die Mobilität einer hochentwickelten Gesellschaft dar und ist zugleich ein wesentlicher Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Planung, Bau und Erhaltung dieser Verkehrsanlagen basieren traditionell auf bewährten und langjährig erprobten Methoden. Dennoch zeigen zahlreiche Großprojekte der vergangenen Jahre, dass es häufig zu Terminverzögerungen sowie Kostenüberschreitungen kommt [1].

Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Digitalisierung im Bauwesen gewinnt die Methode des Building Information Modeling (BIM) zunehmend an Bedeutung. Während BIM im Hochbau bereits weitgehend etabliert ist, bestehen im Bereich des Verkehrsanlagenbaus weiterhin Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der strukturierten Attribuierung von Bauwerksmodellen sowie der effizienten Auswertung von Daten für Bauablauf-, Mengen- und Kostenermittlungen. In der praktischen Anwendung zeigt sich, dass Änderungen am Bauwerksmodell häufig manuelle Anpassungen der zugehörigen Attribute erfordern. Dieser Prozess ist zeitaufwendig, fehleranfällig und führt nicht selten zu inkonsistenten Datenständen innerhalb der Modelle. Die daraus resultierenden Ineffizienzen wirken sich negativ auf die Qualität und Wirtschaftlichkeit von Planungs- und Bauprozessen aus. Vor diesem Hintergrund besteht ein erheblicher Bedarf an methodischen Ansätzen, die eine automatisierte, konsistente und effiziente Attribuierung sowie Auswertung von Bauwerksmodellen ermöglichen. Die vorliegende Arbeit setzt genau an diesem Punkt an und untersucht, wie durch optimierte Arbeitsprozesse und den gezielten Einsatz von BIM-Methoden die Qualität der Daten sowie die Effizienz im Planungs- und Bauprozess nachhaltig verbessert werden können [2, 3].

1.2 Ziele der Arbeit

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist es, die Arbeitsprozesse zur Attribuierung und Auswertung der Attribute auf mögliche Effizienzsteigerungen zu untersuchen. Als Ergebnis sollen Lösungsansätze zur Reduktion des Zeitaufwands formuliert werden. Die Effizienz der Attribuierung ergibt sich aus dem benötigten Zeitaufwand

pro Modell. Dementsprechend liegt eine Effizienzsteigerung vor, wenn der zeitliche Einsatz bei gleichbleibender Modellgröße reduziert wird.

Die Notwendigkeit der Untersuchungen ergibt sich daraus, dass sich einzelne Arbeitsabläufe zur Attribuierung aktuell noch als sehr arbeits- und zeitintensiv darstellen. Nur durch eine effiziente Attribuierung und die Möglichkeit diese auszuwerten wird sich das allgemeine Ziel, die Beschleunigung der Planung durch einen produktiven Einsatz von Verkehrsanlagen-Modellen unter der BIM-Methode langfristig erreichen lassen. Es werden die Lösungsansätze und deren Implementierung, in Kooperation mit dem Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen (IBV), erarbeitet. Aufgrund der Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro sind durch den Autor BIM-Modelle von realen Projekten erstellt worden, welche im Rahmen der Arbeit als Fallbeispiele aufgegriffen, werden.

Selbstverständlich lassen sich die Attribuierung und insbesondere die Auswertung der Attribute hinsichtlich des Bauablaufs und der Mengen- und Kostenermittlung unter Berücksichtigung von Änderungen im Modell nicht allgemein formulieren. Daher sind die Arbeitsabläufe an die Autorensoftware und den damit verwendeten Werkzeugen verbunden. Die Analyse erfolgt daher im Bereich der Attribuierung in card_1 und in der Auswertung in DESITE BIM.

Nicht zuletzt soll das Ergebnis dieser Arbeit fortlaufend in die Implementierung der BIM-Methodik im Ingenieurbüro IBV vorantreiben.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit leitet sich aus der Zielstellung ab, die Problemstellung auszuleuchten und darauf aufbauend Lösungsansätze zur Effizienzsteigerung zu formulieren. Eingangs werden im Kapitel 2 die wichtigsten theoretischen Grundlagen vermittelt. Dieses Wissensgerüst dient dem Leser ein Verständnis für die BIM-Thematik zu vermitteln. Nach der Beschreibung der Ausgangssituation werden Grundlagen der BIM-Methodik und die damit verbundenen Schlagwörter erläutert. In Kapitel 3 wird die verwendete Autorensoftware zur Attribuierung und Auswertung der Modelle beschrieben. Die Weiteren werden die Fallbeispiele vorgestellt. Kapitel 4 befasst sich ausschließlich mit der Attribuierung. Zunächst wird die Modellerzeugung in der Autorensoftware erläutert, da sie die Grundlage für die Attribuierung bildet. Anschließend wird die aktuelle Arbeitsweise erläutert, die zu optimieren ist. Danach erfolgt die Erläuterung der Vorgehensweise zur Implementierung der

herausgearbeiteten Methode zur effizienten Attribuierung. Diese wird dabei schrittweise anhand eines Fallbeispiels dargestellt. Zum Ende des Kapitels wird schließlich gezeigt, wie diese Methode in der praktischen Anwendung genutzt wird. In Kapitel 5 werden die erzeugten Verkehrsanlagemodelle ausgewertet. Dazu wird eine Prüfung der Qualität und Quantität der Attribute durchgeführt. Die dafür erforderlichen Schritte werden in diesem Abschnitt erläutert und anhand eines Fallbeispiels umgesetzt. In Kapitel 6 können die geprüften Modelle dann mit einem Terminplan zu einem modellbasierten Bauablauf kombiniert werden. Wie auch schon in den vorherigen Abschnitten wird hier erklärt, wie die Umsetzung in der Autorensoftware erfolgt. Ebenso gilt das für Kapitel 7, in dem die Mengen und Kosten aus dem Modell ermittelt werden. Die in den Abschnitten 6 und 7 erläuterten beiden Anwendungsfälle sind feste Bestandteile der Planung von Verkehrsanlagen. Die Arbeit wird durch einen Ausblick in die zukünftige Entwicklung und einer Zusammenfassung der Problematik mit den aufgezeigten Lösungsansätzen beendet.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Building Information Modeling

2.1.1 Ausgangssituation

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Digitalisierung viele Bereiche der Wirtschaft erfasst und in den verschiedenen Industriesektoren für immensen Produktivitätszuwachs gesorgt. Im Jahr 2017 veröffentlichte das Bundesfinanzministerium, basierend auf einem Forschungsgutachten des Instituts für Weltwirtschaft (IfW) die Entwicklung der Produktivität in Deutschland [4]. Die Ergebnisse sind in folgender Abbildung dargestellt:

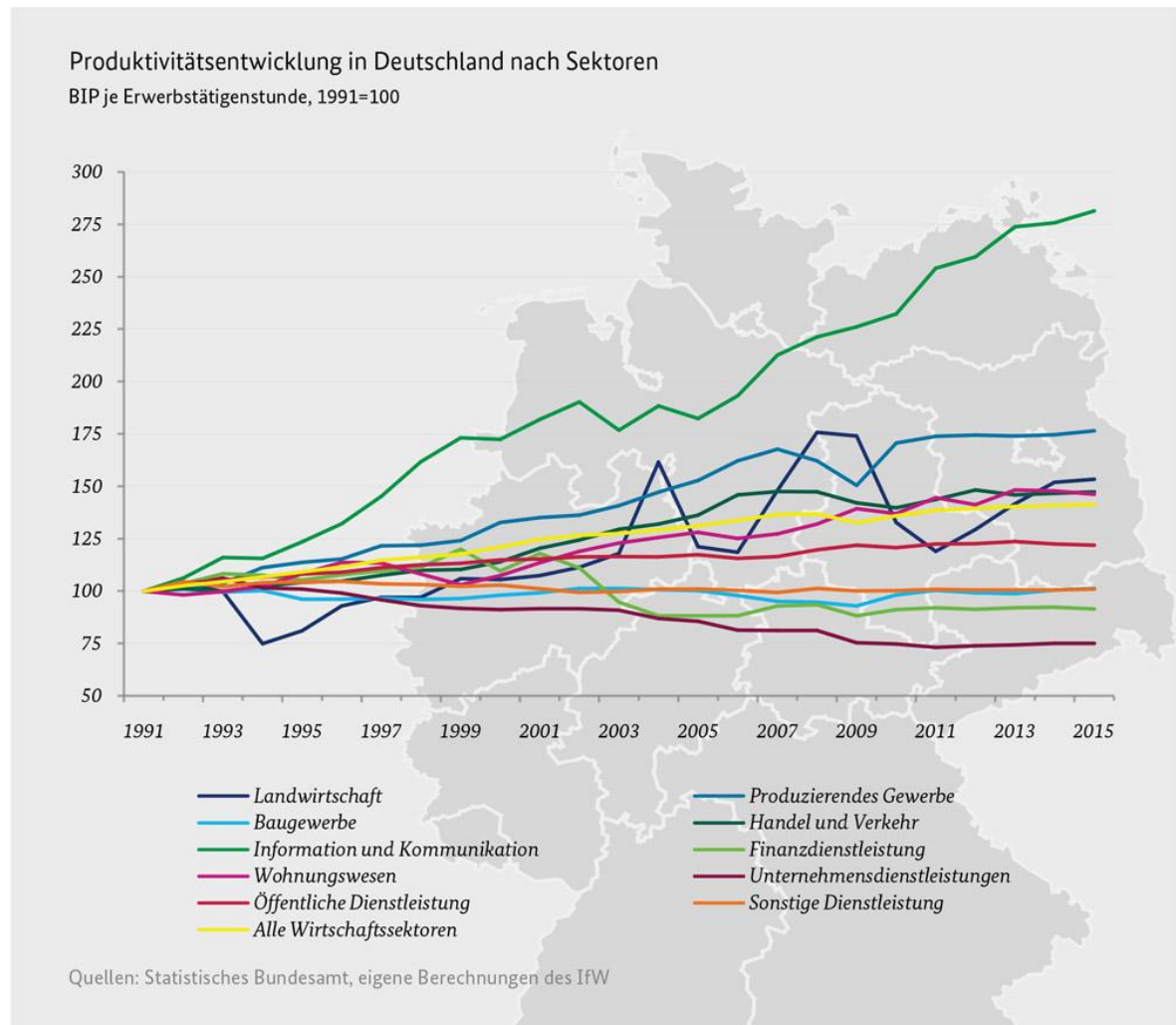


Bild 1: Produktivitätsentwicklung in Deutschland seit 1991 (Quelle: [4])

Bild 1 zeigt die Produktivitätsentwicklung verschiedener Industriesektoren für den Zeitraum von 1991 bis 2015. Während sich in den meisten Branchen ein stetiger

Anstieg des BIPs abzeichnet, stagniert es im Baugewerbe (hellblaue Kurve) oder verfolgt sogar einen rückläufigen Trend.

Zwar werden bei der Planung, Errichtung und dem Betrieb von Bauwerken bereits seit Jahren digitale Werkzeuge genutzt, doch ein Anstieg der Produktivität lässt sich auf Daten des Bundesfinanzministeriums nicht ausmachen (siehe Bild 1). Die Ursache für dieses Problem liegt in der Weiternutzung erzeugter digitaler Werkzeuge, die im Baugewerbe im Vergleich zu anderen Branchen häufig ausbleibt. In herkömmlichen Projekten ist der Bearbeitungsprozess komplex: Es sind viele Beteiligte involviert und es ist eine kontinuierliche Koordination sowie ein intensiver Informationsaustausch erforderlich. Dabei werden Konstruktionsinformationen für Simulationen, Analysen und weitere Berechnungen nicht direkt übertragen, sondern eine stetig wiederholte Übergabe ist erforderlich. Dadurch stellt sich die Weitergabe der Projektdokumentation an Endbenutzer problematisch dar [2]. Bild 2 zeigt den Informationsverlust an bei der Übergabe an weitere Gewerke:

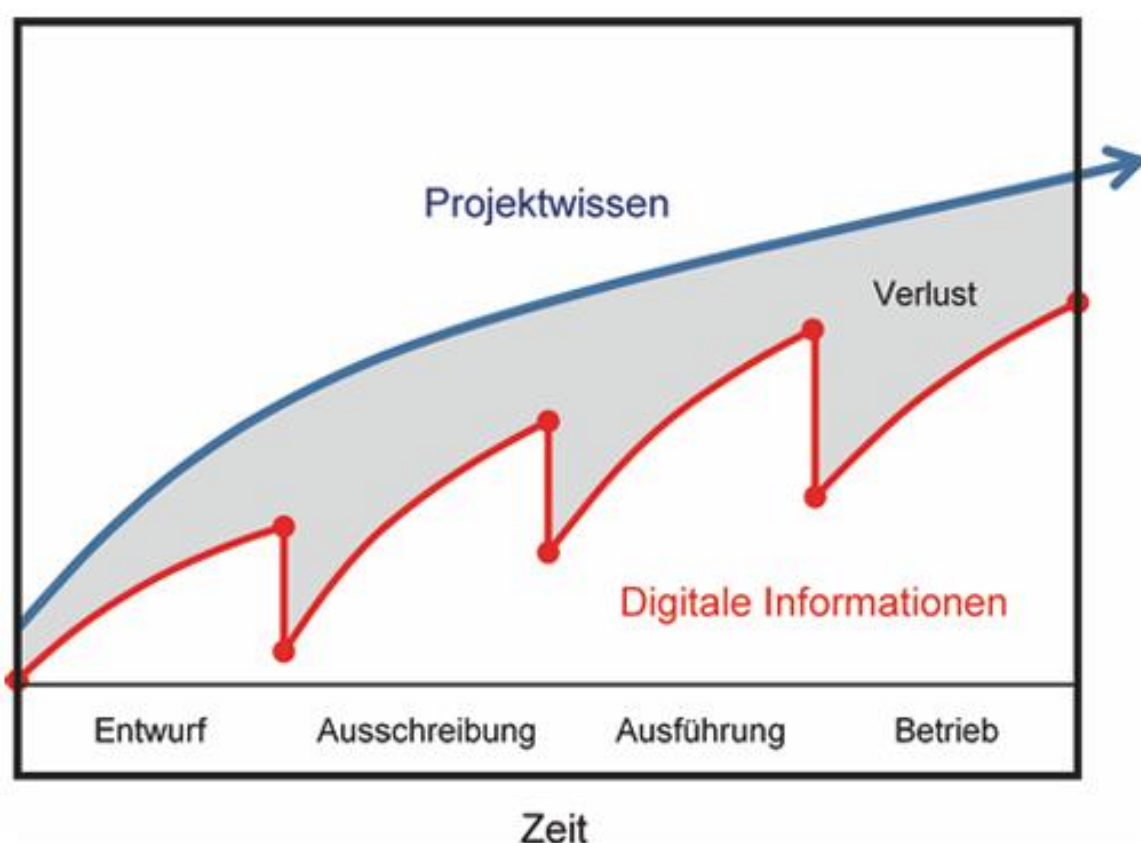


Bild 2: Informationsverlust in der herkömmlichen Projektbearbeitung (Quelle: [2])

Nach den Übergabepunkten im jeweiligen Projektabschnitt müssen verlorene Informationen mit hohem Aufwand erneut abgefragt werden. Dabei können schnell Unstimmigkeiten und Fehler entstehen, die häufig erst während der Bauausführung

entdeckt werden. Dies hat zur Folge, dass Fristen überschritten werden und zusätzliche Kosten entstehen [2].

An diesem Punkt setzt die digitale Arbeitsmethode Building Information Modeling (BIM) an, wodurch eine digitale Unterstützung bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Bauwerken möglich wird.

2.1.2 Begriffsdefinition

BIM ist die Abkürzung des englischen Begriffs „Building Information Modeling“ und wird üblicherweise mit „Bauwerksdatenmodellierung“ ins Deutsche übersetzt. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur definiert BIM wie folgt:

„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“ [5].

2.1.3 Grundsätze und Ziele

Wie in Abschnitt 2.1.2 beschrieben, bildet die kooperative Arbeitsweise den Kern von BIM. Diese umfasst ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks. Neben der dreidimensionalen Geometrie der einzelnen Bauteile enthält es auch einen definierten Detaillierungsgrad: Die Bauteile sind zusätzlich mit einem Satz semantischer Informationen verbunden, die beispielsweise technische Eigenschaften oder Beziehungen zwischen den einzelnen Bauteilen beinhalten.



Bild 3: Lebenszyklus des Bauwerksmodells (Quelle: [2])

Der Begriff BIM umfasst neben der Erstellung, Änderung und Verwaltung eines digitalen Fachmodells auch dessen Nutzung. Dabei soll der gesamte Lebenszyklus des Bauwerks berücksichtigt werden. Dies umfasst den Entwurf und die Planung, die Ausführung und die Bewirtschaftung, den Umbau und schließlich den Rückbau, wie Bild 3 zeigt. Die wahre Stärke von BIM zeigt sich somit in der Weitergabe des Modells. Wenn das Bauwerksmodell an das nächstbeteiligte Gewerk weitergegeben wird, entfällt die bisherige, aufwendige und fehleranfällige Wiedereingabe von Informationen größtenteils.

Insbesondere im Planungsprozess setzt BIM neue Maßstäbe: Technische Zeichnungen können direkt aus dem Bauwerksmodell abgeleitet und Kollisions- sowie Modellprüfungen zwischen den verschiedenen Arbeitsgruppen im Planungsprozess ermöglicht werden. Viele Softwarewerkzeuge basieren außerdem auf Vorschriften, Normen und aktuellen Richtlinien. Mit der BIM-Methode lässt sich zudem die Mengen- und Kostenermittlung der Bauwerksmodelle effizienter erarbeiten.

Bild 4 zeigt, wie sich der Planungsaufwand mit der BIM-Methode im Vergleich zur konventionellen Planung unterscheidet:

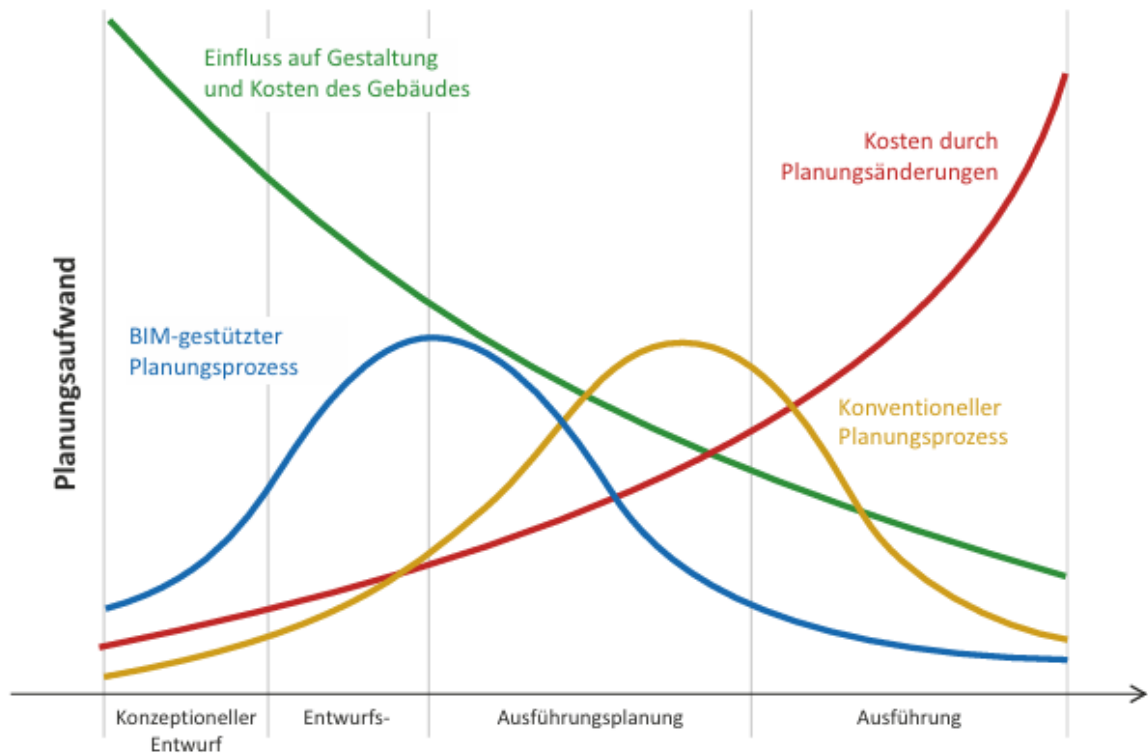


Bild 4: Vergleich des Planungsaufwands zwischen BIM-gestützter und konventioneller Planung (Quelle: [2])

Es wird deutlich, dass es im BIM-gestützten Planungsprozess zu einer Vorverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen kommt. Dies ermöglicht eine frühzeitige Einflussnahme auf die Gestaltung und die Kosten des entstehenden Bauwerks. Im „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“ definiert das BMVI strategische Ziele der BIM-Implementierung. Das erste Ziel betrifft die Wirtschaftlichkeit von Baumaßnahmen und zielt auf eine wesentlich höhere Termin- und Kostenstabilität ab. Das Prinzip lautet: „Erst digital, dann real bauen“. Durch die modellbasierte Abstimmung von Planungsleistungen strebt der Bund eine Minderung von Risiken in der Bauausführung sowie eine Reduktion von Terminverzögerungen und Baukosten an. Planungsfehler sollen frühzeitig erkannt und mit gezielten Maßnahmen behoben werden [5].

BIM leistet ferner einen wichtigen Beitrag zum nachhaltigen Bauen und Betreiben der Verkehrsanlage. Eine umfassende Nutzung in frühen Leistungsphasen ermöglicht Analysen und Aussagen zur Ökobilanz und zu eventuellen Umweltauswirkungen. Ebenso ermöglicht eine Rückbausimulation eine frühzeitige Bewertung der Weiterverwendung von Baustoffen. Ein wichtiger Aspekt der BIM-Methode ist die verbesserte Kommunikation zwischen den verschiedenen Gewerken. Defizite in der Kommunikation sind besonders problematisch und häufig die Ursache für

Bauverzögerungen und Kostensteigerungen. Ein digitales Bauwerksmodell bietet neben einem geringeren Informationsverlust zwischen den Projektbeteiligten auch Laien einen Einblick in das Bauvorhaben. Durch eine umfassende Projektvisualisierung können öffentliche Beteiligungen und Belange erleichtert werden. Des Weiteren verfolgt der „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“ das Ziel, ein einheitliches Daten- und Informationsmanagement einzuführen. Damit will der Bund alle am Bauvorhaben beteiligten Personen einen reibungslosen und transparenten Datenaustausch ermöglichen. Ein zentrales Datenmanagement reduziert Redundanzen, verbessert die Datenqualität und gewährleistet einen durchgängigen Informationsfluss. Für den flächendeckenden Einsatz der BIM-Methode im Straßen- und Infrastrukturbau sind bundesweit einheitliche Rahmenbedingungen sowie harmonisierte BIM-Standards für die Autobahn GmbH und die Länder erforderlich. Ziel ist es, den Implementierungsaufwand zu reduzieren und ein länderübergreifend einheitliches Vorgehen sicherzustellen [5].

Für den Austausch der zahlreichen im BIM-Prozess verwendeten Daten sind offene und standardisierte Schnittstellen erforderlich. In Deutschland haben sich dafür die Formate IFC (Industry Foundation Classes) und BCF (BIM Collaboration Format) etabliert. Die Harmonisierung und Standardisierung können nur durch eine enge Zusammenarbeit von Bund und Ländern erreicht werden. Institutionen wie BIM Deutschland, die BAST, die FGSV und der Bund-/Länder-IT-Koordinierungskreis (ITKo) unterstützen dabei die Weiterentwicklung technischer Regelwerke und die nationale sowie internationale Abstimmung [1].

2.1.4 Stand der Einführung der BIM-Methode in Deutschland

Während die Einführung der BIM-Methode in vielen Ländern bereits seit Mitte der 2000er Jahre gängige Praxis ist, hinkt Deutschland im internationalen Vergleich hinterher [6]. Die Grundlage für die deutschlandweite Einführung der BIM-Methode bildet der im Jahr 2015 veröffentlichte Endbericht der Reformkommission Bau von Großprojekten. Das BMVI erkannte die hohen Potenziale von BIM anhand ausländischer Bauvorhaben. In der Folge wurden im Dezember 2015 mit der Veröffentlichung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ drei Stufen zur Einführung festgelegt. Ziel des Stufenplans war es, die Digitalisierung mittels BIM voranzutreiben und dabei auftretende Probleme zu dokumentieren, auszuwerten und zu bewältigen. Die dritte Stufe sollte ursprünglich bis 2020 abgeschlossen sein, so dass

BIM im gesamten Verkehrsinfrastrukturbereich Anwendung findet. Um diese Ziele zu realisieren, beauftragte das BMVI ab 2017 die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020. Diese untersuchten Pilotprojekte, analysierte deren Ergebnisse und entwickelte umfangreiche Handreichungen sowie standardisierte Vorlagen für AIA und BAP. Zudem wurden rechtliche Probleme hinterfragt und besondere Vertragsbedingungen (BIM-BVB) entwickelt.

Der im September 2021 veröffentlichte „BIM-Masterplan für Fernstraßen“ des Bundes knüpft unmittelbar an den Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ an und setzt die Bestrebungen von „BIM4INFRA2020“ fort. Um eine erfolgreiche Implementierung zu erreichen, ist wie im Stufenplan eine in drei Phasen gestaffelte Umsetzung vorgesehen. Derzeit zielt der Masterplan auf das Zukunftsbild der digitalen Zwillinge für Bundesfernstraßen ab [5].

Das Phasenmodell des BIM-Masterplans von 2021 ist in Bild 5 dargestellt. Es ermöglicht eine breite Anwendung von BIM im Regelprozess der Autobahn GmbH sowie in den Auftragsverwaltungen der Länder und bildet die Grundlage für den Betrieb von digitalen Zwillingen.



Bild 5: Phasenmodell des BIM-Masterplan für Bundesfernstraßen (Quelle: [5])

In der ersten Phase beginnend 2021 sollen die Bemühungen zur Implementierung der BIM-Methode in der Autobahn GmbH des Bundes (Autobahn GmbH) und den Auftragsverwaltungen der Länder strategisch und organisatorisch konsolidiert werden. Nach Etablierung eines bundesweit einheitlichen und standardisierten Basisniveaus soll die BIM-Methode in der zweiten Phase auf alle Standorte der Autobahn GmbH und der Auftragsverwaltungen der Länder ausgeweitet werden. In der dritten

Phase soll die BIM-Methode schließlich bei allen Projekten zum Standard werden. Gemäß des Masterplans sollte dieser Regelprozess ursprünglich ab 2025 in Kraft treten, wurde jedoch auf 2026 verschoben. Wie in Bild 5 dargestellt, wird anschließend der weiterführende Masterplan für den digitalen Zwilling der Bundesfernstraßen zur Anwendung gebracht.

Um die erfolgreiche Implementierung der Strategie sicherzustellen und eine Integration in den Regelbetrieb zu erreichen, sind operative Maßnahmen in den vier relevanten Handlungsfeldern erforderlich. Diese umfassen Richtlinien, Prozesse, Personal sowie Technologie und stellen die grundlegenden Rahmenbedingungen für die Implementierung von BIM im Bundesfernstraßenbau dar. Zur Förderung dieser Implementierung sollen das BMVI gemeinsam mit der Autobahn GmbH des Bundes und den Auftragsverwaltungen der Länder umfassende Leitfäden, Konzepte und organisatorische Strukturen erarbeiten. Dabei stellen die Musterrichtlinie BIM (MR BIM) und die Handlungsempfehlung BIM (HE BIM) eine zentrale Basis dar. Während die MR BIM vor allem Rahmendokumente für die praktische Projektarbeit bereitstellen soll, beispielsweise zu BIM-Anwendungsfällen oder zum Datenmanagement, fungiert die HE BIM als Leitfaden für die Implementierung der BIM-Methode in den beteiligten Institutionen.

Einige dieser Rahmendokumente wurden bereits erstellt und veröffentlicht. Dennoch fehlen derzeit noch weitere wesentliche Konzepte und Richtlinien. Im Rahmen eines Pilotierungs- und Evaluierungsprogramms für BIM sollen die MR BIM und die HE BIM kontinuierlich weiterentwickelt und aktualisiert werden, um langfristig ein bundesweit einheitliches Verständnis und eine koordinierte Vorgehensweise bei der Anwendung der BIM-Methode im Bundesfernstraßenbau zu gewährleisten [5].

2.2 BIM-Anforderungsmanagement

Für die erfolgreiche Implementierung von BIM sind vertragliche Vereinbarungen bezüglich der Modellinhalte, der Modellqualität und der Prozessabläufe entscheidend. Letzteres betrifft insbesondere die Übergabe von Modellen. In der britischen Norm PAS 1192-2, der internationalen Norm ISO 19650 sowie in verschiedenen deutschen Richtlinien wurde zunächst ein Verfahren festgelegt, das auf zwei komplementären Dokumenten basiert: den Auftraggeber-Informationsanforderungen und dem BIM-Abwicklungsplan. Die Unterscheidung, welche Inhalte in AIA und welche im BAP geregelt werden, wird in der Praxis von Einzelfall zu Einzelfall getroffen [6].

2.2.1 Auftraggeber-Informationen-Anforderungen

In den Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) legt der Auftraggeber die Anforderungen fest, die der Auftragnehmer zu erfüllen hat, um die vorgegebenen Ziele und Anwendungsfälle zu realisieren. Die zentralen Aspekte dieser Anforderungen umfassen Spezifikationen bezüglich des Zeitpunkts, der geforderten Quantität und Qualität der digitalen Liefergegenstände, um die Voraussetzungen für eine kollaborative Bearbeitung zu gewährleisten. In den AIA werden die Anforderungen für die zu erbringende BIM-Leistung festgelegt, ohne dabei zwischen den grundlegenden und besonderen Leistungen zu differenzieren. Der Fokus der AIA liegt demnach auf quantifizierbaren Leistungsergebnissen, was bedeutet, dass die AIA primär Modellstände mit spezifischen, definierten Charakteristika darstellen. In Abschnitt 2.2.3 werden die Anwendungsfälle (AwF) zusammen mit den zu erbringenden Teilleistungen detaillierter erläutert. Die Detailprozesse sollten üblicherweise nicht in den AIA, sondern im BAP enthalten sein. Zusätzlich werden spezifische Projektfestlegungen in Bezug auf Richtlinien, Standards sowie die Terminologie getroffen [6, 7].

2.2.2 BIM-Abwicklungsplan

Im Unterschied zu den AIA wird der BIM-Abwicklungsplan (BAP) vom Auftragnehmer erstellt. Er beschreibt die Bereitstellung der festgelegten digitalen Liefergegenstände und wird mit dem Auftraggeber abgestimmt. Der BAP legt somit nicht die Projektziele, sondern die Strategie zur Realisierung der Vorgaben aus den AIA fest. Zu Beginn des Projekts erfolgt eine Einleitung und Definition, in der die Angaben des Auftraggebers überprüft, bestätigt und gegebenenfalls ergänzt werden. Dieser Prozess wiederholt sich bei den Zielen und Anwendungsfällen von BIM-Projekten. Danach werden die BIM-Rollen zugewiesen. Dazu sind Organigramme bereitzustellen, in denen die zuständigen Ansprechpartner aufgeführt werden.

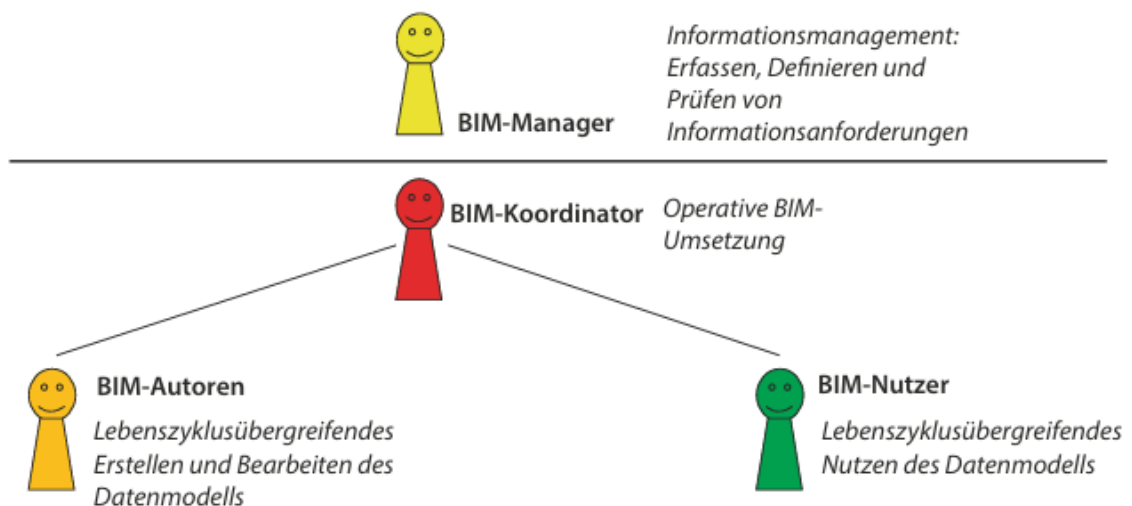


Bild 6: BIM-Rollen und deren Aufgaben (Quelle: [6])

Die einzelnen Rollen im Building Information Modeling (BIM) sollten gemäß VDI 2552, Blatt 7, vertraglich festgelegt werden. Die Richtlinie schlägt vier Rollen vor: Informationsmanager, -koordinator, -autor und -nutzer [6].

Informationsmanager, auch BIM-Manager genannt, sind Projektmitarbeiter, die auf der Auftraggeberseite tätig sind. In bestimmten Fällen oder in Abhängigkeit von der Projektgröße können BIM-Manager jedoch auch bei Auftragnehmern angestellt sein. Der Informationsmanager trägt eine Vielzahl von Verantwortlichkeiten. Dazu zählen die Erfassung der AIA sowie die Festlegung der BIM-Ziele und -Anwendungen. Darüber hinaus definiert er die BIM-Prozesse über den gesamten Lebenszyklus des Bauprojekts. Zu seinen Verantwortlichkeiten gehören ebenfalls die Überwachung der Implementierung und Einhaltung sowie die Dokumentation. Er evaluiert das Datenmodell hinsichtlich Qualität, Aktualität und Vollständigkeit und ist für das CDE verantwortlich. Er koordiniert die BIM-Aufgaben und -Prozesse mit den übrigen Beteiligten, insbesondere mit dem Informationskoordinator DESITE [8].

Der Informationskoordinator (BIM-Koordinator) koordiniert die Aufgaben der Projektmitglieder des Auftragnehmers. Diese sind für die operative Implementierung von BIM über die verschiedenen Phasen eines Bauprojekts hinweg verantwortlich. Zu den Aufgaben des BIM-Koordinators gehört unter anderem die Festlegung und Koordination von Aufgaben und Zuständigkeiten basierend auf den individuellen Prozessen und Anwendungen. Zusätzlich ist der Koordinator dafür verantwortlich, die mit dem AG vereinbarte Qualität des Datenmodells und einen fehlerfreien Datenaustausch zu gewährleisten.

Der Informationsautor, auch BIM-Autor genannt, ist ein Projektmitarbeiter, der in Abstimmung mit dem Informationskoordinator die Verantwortung für die Erstellung und Bearbeitung des Datenmodells des Bauvorhabens über den gesamten Lebenszyklus hinweg trägt. Dabei sind nicht nur die Akteure in den Planungsphasen gemeint, sondern alle, die das Projekt mit Informationen bereichern [6, 9].

Als Informationsnutzer (BIM-Nutzer) werden Projektmitarbeiter bezeichnet, die das Datenmodell ausschließlich zur Informationsbeschaffung verwenden. Sie fügen keine Informationen hinzu, sondern nutzen sie.

Weitere Bestandteile des BAP sind die Beschreibung und Darstellung der geforderten BIM-Prozesse. Dabei werden die Prozesse aus den AIA individuell auf das jeweilige Projekt angewendet. Zudem werden die Daten und Informationen aus den AIA überprüft und bestätigt sowie alle Anforderungen an die Informationstechnologie detailliert dargelegt. Dies umfasst die verwendete Software und Hardware sowie die gemeinsame Datenumgebung [6].

2.2.3 Anwendungsfälle

Wie in Abschnitt 2.2.1 bereits dargelegt, beschreibt ein Anwendungsfall (AwF) eine zu erbringende Teilleistung innerhalb eines BIM-Projekts. Demzufolge kann das gesamte Projekt in verschiedene AwF segmentiert werden. Die Anforderungen an die Erzeugung des digitalen Bauwerksdatenmodells resultieren somit aus den AwF.

In Tabelle 1 sind die 21 AwF gemäß dem BIM-Masterplan für Bundesfernstraßen aufgeführt. Bei eingehender Analyse wird deutlich, dass die Einsatzmöglichkeiten äußerst vielfältig sind. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass im AIA klar festgelegt wird, welche Leistungen und AwF erforderlich sind, um das angestrebte Ziel zu erreichen [2].

Tabelle 1: Liste der 21 AwF (Quelle: Abbildung nach [9])

Liste der standardisierten AwF	
AwF 000	Grundsätzliches
AwF 010	Bestandserfassung und -modellierung
AwF 020	Bedarfsplanung
AwF 030	Planungsvarianten
AwF 040	Visualisierung
AwF 050	Koordination der Fachgewerke

AwF 060	Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung
AwF 070	Bemessung und Nachweisführung
AwF 080	Ableitung von Planunterlagen
AwF 090	Genehmigungsprozess
AwF 100	Mengen- und Kostenermittlung
AwF 110	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe
AwF 120	Termin- und Bauablaufplanung der Ausführung
AwF 130	Logistikplanung
AwF 140	Baufortschrittskontrolle
AwF 150	Änderungs- und Nachtragsmanagement
AwF 160	Abrechnung von Bauleistungen
AwF 170	Abnahme- und Mängelmanagement
AwF 180	Inbetriebnahmemanagement
AwF 190	Projekt- und Bauwerksdokumentation
AwF 200	Nutzung für Betrieb und Erhaltung

Die vom BMVI festgelegten AwF erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das bedeutet, dass bei Bedarf neue AwF oder Unteranwendungsfälle definiert werden dürfen. Wichtig ist, dass jedes neue AwF alle nachfolgenden Punkte umfasst. Zudem ist eine klare Definition des AwF einschließlich seines Nutzens und Ziels erforderlich. Des Weiteren sollten die Voraussetzungen und die Umsetzung zur Verwirklichung des Bauvorhabens dargelegt werden. Ebenso sollten das Datenaustauschformat sowie die Eingangs- und Ausgangsdaten angegeben werden [9].

2.3 BIM-Datenmanagement

Um eine effiziente Arbeitsweise sicherzustellen, zielt die BIM-Methode darauf ab, alle Modelle im Koordinationsmodell zusammenzufassen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die verschiedenen Gewerke mit unterschiedlicher, spezifischer Software arbeiten. Für den Umstieg auf modellgestützte Arbeit haben sich verschiedene Begriffe etabliert, die verschiedene technologische Ausprägungsgrade beschreiben [2]. Die Breite des BIM-Einsatzes wird in Bild 7 dargestellt:

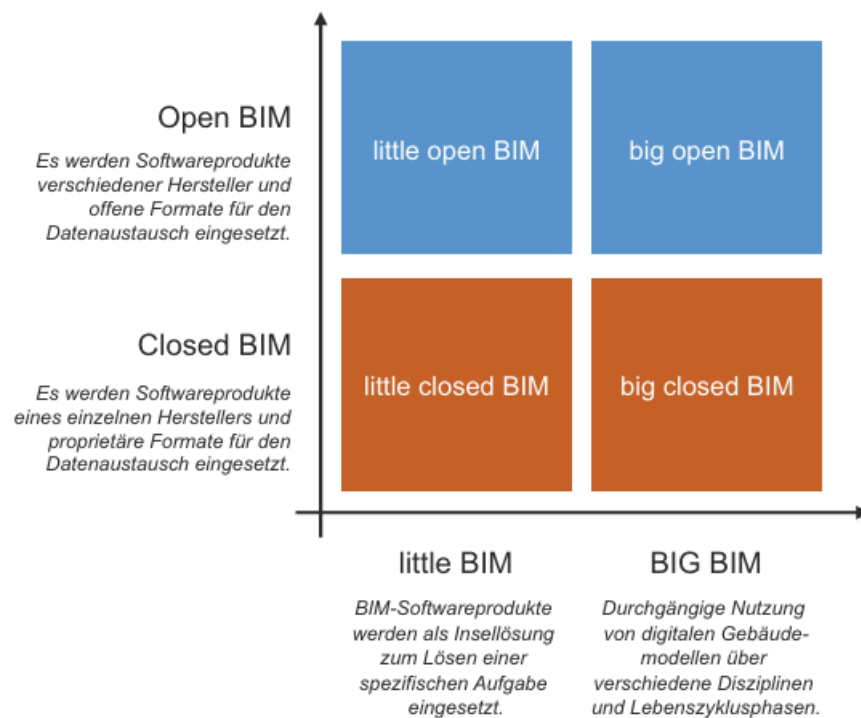


Bild 7: Breite des BIM-Einsatzes (Quelle: [2])

Zum einen wird zwischen „BIG BIM“ und „little BIM“ differenziert. „Little BIM“ bezeichnet das Arbeiten mit einer aufgabenspezifischen Software zur Erzeugung eines digitalen Bauwerks. Im Gegensatz zu „BIG BIM“ erfolgt keine Weiternutzung des Ergebnismodells. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie der Datenaustausch bei der BIG-BIM-Arbeitsweise erfolgen soll. Auch hier unterscheidet man zwischen zwei Möglichkeiten: „Closed BIM“ beschreibt eine proprietäre Schnittstelle, also die ausschließliche Nutzung von Software eines Herstellers, wohingegen Open BIM die Nutzung von offenen, herstellernerneutralen Datenformaten bezeichnet [10].

In der Praxis werden Kombinationen der zuvor genannten Methoden angewendet. Um eine effiziente Arbeitsweise sicherzustellen, zielt die BIM-Arbeitsweise auf die Open-BIM-Methode ab.

Allerdings gab es lange Zeit das Problem der mangelnden Interoperabilität aufgrund der Heterogenität der Softwarelandschaft und der Verteilung der Aufgaben auf verschiedene Unternehmen. Aus diesem Grund wurde Anfang der 1990er Jahre die Internationale Allianz für Interoperabilität (seit 2003 buildingSMART) gegründet, die native, herstellernerneutrale Datenformate entwickelte [2].

2.3.1 Datenformate

Bei Anwendung der BIM-Methode wird je nach Anwendungsform ein natives bzw. herstellernerutrales Datenformat eingesetzt. Die nativen Datenformate sind hersteller- bzw. softwareabhängig und können daher nicht oder nur unzureichend im Open-BIM-Bereich angewendet werden. Aus diesem Grund müssen bei einer vollständigen Transformation zu Open BIM herstellernerneutrale Datenformate zum Einsatz kommen [6].

Industry Foundation Classes (IFC):

Die Industry Foundation Classes (IFC) ist ein offenes, neutrales und objektorientiertes Datenmodell für den modellbasierten Informationsaustausch im Rahmen von Building Information Modeling (BIM). Das Ziel des IFC-Standards ist es, Interoperabilität sicherzustellen und einen verlustarmen Datenaustausch zu ermöglichen. Das IFC-Format wurde von buildingSMART entwickelt und kontinuierlich weiterentwickelt. Die frühen Versionen IFC 1.x bis IFC 2.0 besaßen überwiegend einen experimentellen Charakter und sind heute nicht mehr praktisch relevant. IFC 2x3 etablierte erstmals einen stabilen, breit akzeptierten Standard, allerdings nur mit eingeschränkter Unterstützung für Tief- und Infrastrukturbauwerke.

Die ISO 16739 normiert IFC 4 und stellt somit den nächsten wesentlichen Entwicklungsschritt dar. Insbesondere im Bereich der Geometriebeschreibung bildet sie die Grundlage für moderne Open-BIM-Anwendungen. Aufbauend darauf wurden mit IFC 4.1 bis IFC 4.3 spezialisierte Infrastruktur-Erweiterungen (IFC-Infra) eingeführt, die unter anderem eine standardisierte Abbildung von Trassen, Straßen, Brücken und weiteren linearen Bauwerken ermöglichen.

IFC 4.3 gilt derzeit als maßgebliche Referenzversion für den Tief- und Infrastrukturbau, befindet sich jedoch noch im Übergang von der normativen Definition zur flächendeckenden Software-Implementierung [2].

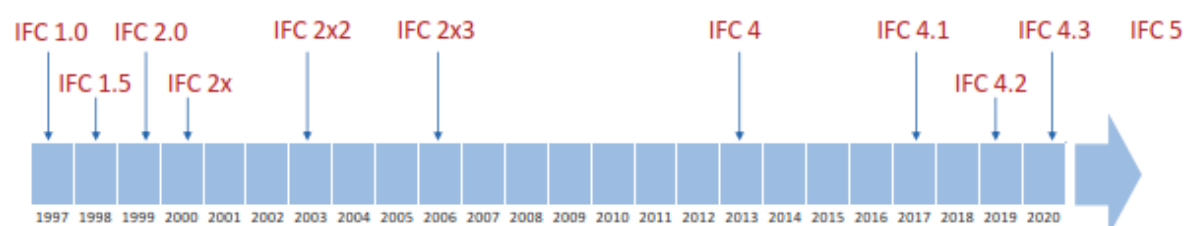


Bild 8: Versionsgeschichte des IFC-Standards (Quelle: [2])

IFC umfasst neben den Bauobjekten auch die Definitionen der zugehörigen Attribute bzw. Parameter, beispielsweise Länge, Breite, Höhe oder Material eines bestimmten Bauteils. In dem Datenmodell ist die technische Projektstruktur im Sinne des Bauvorhabens hierarchisch aufgebaut. Die Bauteile stehen dabei in unterschiedlicher Beziehung zueinander [6, 11].

BIM Collaboration Format (BCF)

BCF ist ein weiterer von buildingSMART entwickelter Standard, der die IFC-Schnittstelle für einige Zwecke ergänzt. Er dient als Datenschnittstelle, um den vereinfachten Austausch von Koordinationsinformationen zwischen verschiedenen Softwareprodukten zu gewährleisten. Des Weiteren ermöglicht BCF eine modellbasierte Kommunikation über besondere Modellkomponenten mit Nachrichten und Aufgabenpunkten zwischen unterschiedlichen Projektbeteiligten (z. B. Kollisionsprüfung). Zudem informiert es über den Status und andere Merkmale des IFC-Datenmodells [6].

2.3.2 Common Data Environment

Der breite Einsatz herstellernerneutraler Datenformate wie IFC oder BCF erfordert zentrale Plattformen (Sharepoints), um einen klaren und effizienten Informationsaustausch zu gewährleisten. Solche gemeinsamen Datenumgebungen werden als Common Data Environment (CDE) bezeichnet und sind ein unverzichtbares Werkzeug zur Umsetzung von Open BIM. Zu den wichtigsten Bestandteilen einer CDE gehören ein projektbezogenes Dokumentenmanagementsystem (DMS), eine Modellverwaltung, Kommunikations- und Kollaborationstools, Prozesse und Workflows, ein Zugriffs- und Berechtigungsmanagement sowie eine Protokollierung zur Nachvollziehbarkeit (Audit-Trail).

Bild 9 zeigt den Informationsaustausch im BIM-Planungsprozess mit und ohne CDE. Beim ersten Betrachten wird direkt deutlich, welche Vorteile es bringt, alle Daten an einem zentralen Ort zu bündeln. Einerseits steigt die Qualität der Informationen, da eine zentrale Speicherung mit klarer Strukturierung und ständiger Versionskontrolle mehrfach vorhandene, widersprüchliche oder fehlerhafte Daten verhindert. Die CDE schreibt vor, dass Planversionen für alle Projektbeteiligten aktuell und verbindlich gehalten werden. Diese Arbeitsweise sorgt für erhöhte Transparenz und Effizienz. Alle am Bauvorhaben beteiligten Mitarbeiter müssen Informationen nicht untereinander erfragen, sondern greifen auf den SharePoint zu. Durch die vereinfachte

Kommunikation entstehen klare Workflows mit klarer Arbeitsteilung, wodurch redundante Tätigkeiten unterbunden werden. Gleichzeitig führt die größere Übersicht zu einer Reduktion von Risiken und den dadurch anfallenden Kosten [6].

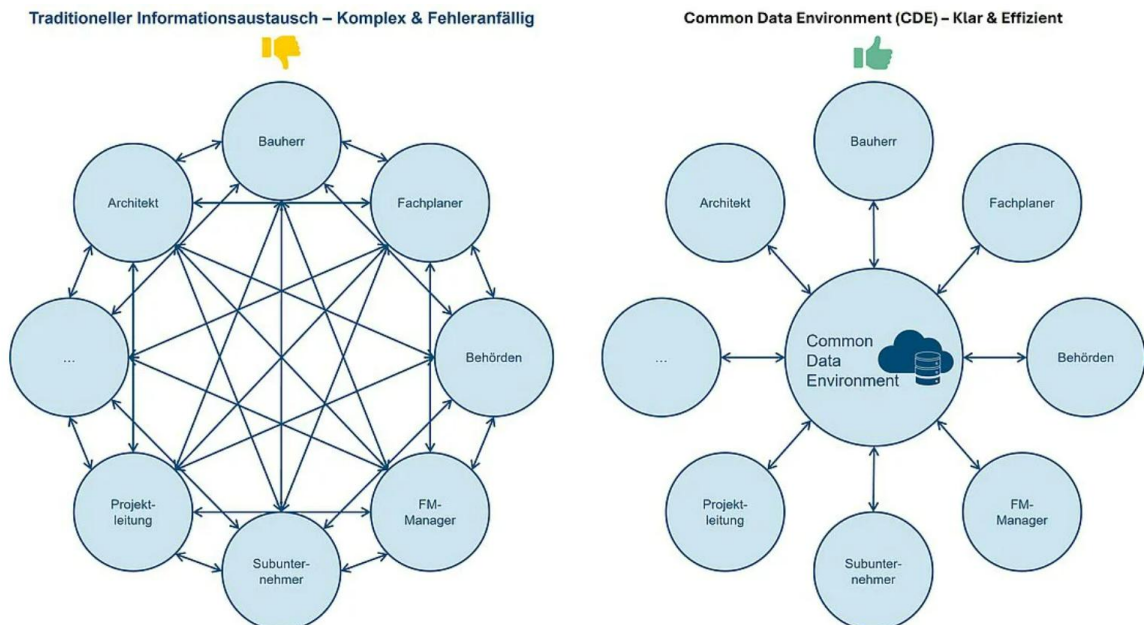


Bild 9: Vergleich Informationsaustausch ohne CDE und mit CDE (Quelle: [6])

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Datenformate wie IFC oder BCF eine besondere Rolle bei der Umsetzung von Open BIM spielen und in Zukunft umfassend weiterentwickelt werden müssen. Die Koordinierung und das Management von Modellen und Informationen sind ebenso wichtig wie offene Dateiformate. Um die Vision von BIM als umfassendes Modell über alle Bauwerksphasen hinweg zu verwirklichen, sind cloudbasierte Informationsplattformen alternativlos.

2.4 Ausarbeitungsgrade

Der Entwurf und die Planung von Verkehrsanlagen sind ein fortschreitender Prozess, bei dem Informationen zunehmend detaillierter ausgearbeitet werden. Für den Daten- und Informationsaustausch werden verschiedene Ausarbeitungsgrade verwendet. Um weder zu viele noch zu wenige Informationen bereitzustellen, ist es notwendig, allen Projektbeteiligten Anforderungen an die Detaillierung zu stellen. Der Ausarbeitungsgrad beschreibt somit die zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Planungsphase zu liefernden Informationen.

2.4.1 Ausarbeitungsgrad - Level of Development

Der Ausarbeitungsgrad (LOD), auch Fertigstellungsgrad genannt, beschreibt den Gesamtdetaillierungsgrad eines BIM-Modells. Er ergibt sich aus dem

Detaillierungsgrad der Geometrie (LOD) und dem Detaillierungsgrad der alphanumerischen Informationen (LOI) und lässt sich wie folgt zusammenfassen:

$$\text{LOD} = \text{LOG} + \text{LOI} \quad (1)$$



Bild 10: Zusammenhang zwischen LOD und Leistungsphasen (Quelle: [6])

Im Straßenentwurf wird die Detaillierung von Planungsunterlagen im Kontext des Baurechtsverfahrens in den neun Leistungsphasen (LPH) der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) geregelt. Mit der Veröffentlichung der VDI-Richtlinie 2552 Blatt 4 im August 2020 wurden die etablierten Planungsverfahren mit den Ausarbeitungsgraden der BIM-Modelle verknüpft. Im Gegensatz dazu unterscheidet LOD nur zwischen fünf Stufen. Diese werden aufsteigend mit den Zahlen 100 bis 500 gekennzeichnet. Tabelle 2 beschreibt die Eigenschaften der einzelnen Ausarbeitungsgrade [11].

Tabelle 2: Inhalte der LOD 100 bis 500 (Quelle: [6])

Detaillierungsgrad	Eigenschaften
LOD 100	Sehr einfaches geometrisches Modell mit wesentlichen Informationen für die Vorplanung
LOD 200	Modellelement mit ungefährender Position und Geometrie sowie wichtigen Eigenschaften z.B. Informationen für die Kostenberechnung
LOD 300	Modellelement mit genauer Position und Geometrie für die Genehmigungs- und Ausführungsplanung; Ermittlung der Mengen und Aufstellen von LV
LOD 400	Modellelement mit allen geometrischen und alphanumerischen Informationen für die Baumaßnahme: z.B. Montageanweisungen und spezifizierte Bauverfahren
LOD 500	Modellelement repräsentiert das reale Element in Position und Geometrie und enthält alle wesentlichen Informationen zur Bauüberwachung und Dokumentation

Bei der Erstellung eines LOD muss berücksichtigt werden, wie detailliert die Modellelemente in den verschiedenen Stufen ausgearbeitet werden sollen. Aus diesem Grund gibt es eine Vielzahl von LOD-Konzepten einzelner Auftraggeber mit unterschiedlichen Anforderungen an die Auftragnehmer. Diese werden in den AIA oder im BAP genau festgelegt [6].

2.4.2 Geometrische Detaillierungsgrad – Level of Geometry

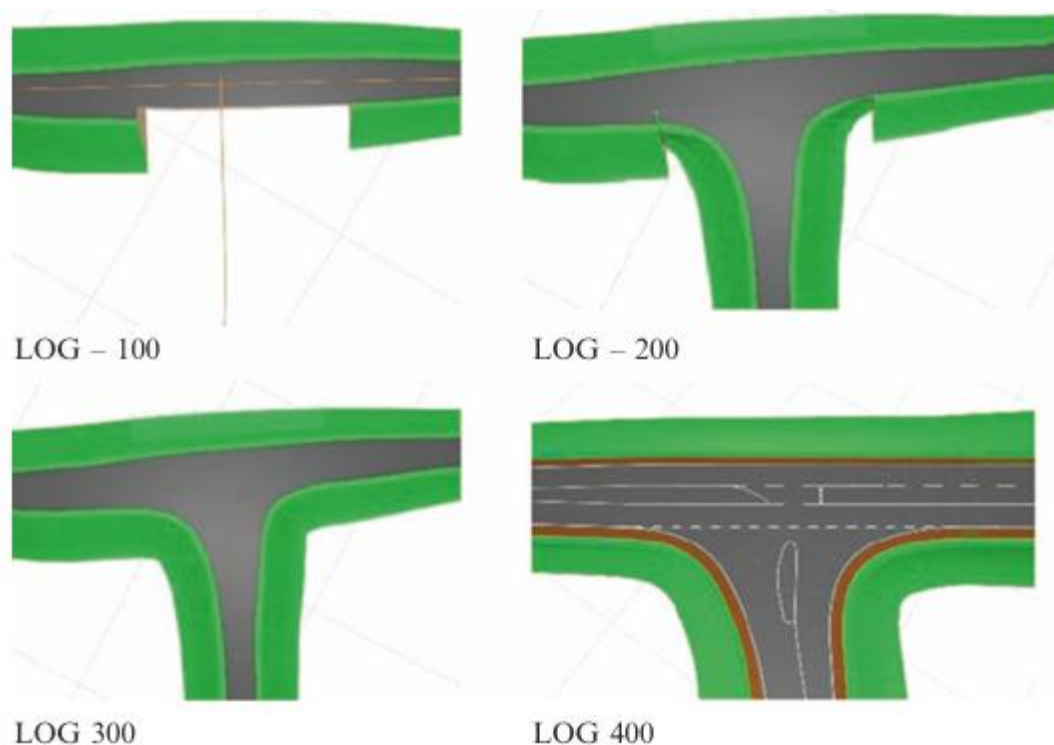


Bild 11: LOG am Beispiel einer Einmündung (Quelle [2])

Der geometrische Detaillierungsgrad (LOG) beschreibt die Anforderungen an die Geometrie des Bauwerksmodells – von symbolisch über vereinfacht bis hin zu detailliert. Das LOG definiert die Darstellungstiefe des Modells und beschreibt die geometrischen Mindest- und Maximalanforderungen. Die Elemente des Fachmodells werden aus der zunehmenden Maßstabsgenauigkeit der zeichnerischen Darstellungen entlang der Leistungsphasen abgeleitet. Daher lassen sie sich auch aus den ungefähren Anforderungen der RE ableiten.

Bild 11 veranschaulicht beispielhaft die Entwicklung der Darstellungstiefe einer Einmündung über die LOG-Phasen. In der ersten Stufe wird nur die übergeordnete Straße modelliert, wobei der Knotenpunkt und die untergeordnete Straße ausgespart werden. In LOG 200 wird die Einmündung richtlinienkonform hergestellt. Die

Seitenräume ergeben sich aus den jeweiligen Parametern der Straße. Die Anpassung von Banketten und Böschungen hinsichtlich Breite und Neigung, um einen harmonischen Übergang zu gewährleisten, erfolgt erst in der nächsten Stufe. Im letzten LOG wird der Knotenpunkt schließlich für die Genehmigungs- oder Ausführungsplanung vollständig ausgearbeitet. Das heißt, die einzelnen Bauteile werden in einer richtlinienkonformen Farbe dargestellt. Darüber hinaus werden Straßenausstattungen und Fahrbahnmarkierungen zum Modell hinzugefügt [2, 6].

2.4.3 Alphanummerische Detaillierungsgrad – Level of Information

Der alphanumerische Detaillierungsgrad legt die Anforderungen an den Informationsgehalt des Modells fest. Er beschreibt somit, welche Informationstiefe ein Modell zum Erreichen eines entsprechenden LOI aufweisen muss. Der Auftraggeber legt dazu die für ihn erforderlichen Merkmale und Merkmalgruppen fest. Diese Auflistung von Merkmalen ist Teil des LOD-Konzepts und stellt die maßgebliche Grundlage für die Vorgänge der Attribuierung dar. Die Anforderungen an die zumeist bauteilbezogenen Informationen können im Rahmen einer Straßenplanung sinnvoll und bedarfsgerecht erfüllt werden [6].

3 Autorensoftware und Fallbeispiele

3.1 Verwendete Autorensoftware

Im Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen finden, innerhalb der Abteilung „Straße“, die Softwareprodukte card_1 und DESITE BIM, als Autorensoftware, Einsatz. Innerhalb der Abteilung „Brücke“ werden auch weitere fachspezifische Softwareprodukte angewendet. Diese beeinflussen die Arbeitsprozesse in der Abteilung „Straße“ nicht und werden deshalb auch hier nicht weiter betrachtet.

Die Erstellung und Attribuierung von BIM-Modellen erfolgt vorwiegend in der Software card_1, welche die „primäre“ Autorensoftware in der IBV GmbH ist. Die Zusammenführung von einzelnen Teilmodellen zum Koordinationsmodell erfolgt in der „sekundären“ Autorensoftware DESITE BIM.

Innerhalb des Unternehmens werden die genannten Softwareprodukte zur Abwicklung von BIM-Arbeitsprozessen genutzt. Deren Nutzung ist in den Verträgen der BIM-Projekte verankert und mit den AG abgestimmt. In dieser Arbeit wurde ausschließlich mit den beiden Softwareprodukten gearbeitet, weshalb diese in den folgenden Erläuterungen genauer charakterisiert werden.

3.1.1 Card_1

Die Autorensoftware card_1 des Herstellers IB&T Software GmbH bietet als grafisch-interaktiv orientiertes Entwurfsprogramm praktische Werkzeuge für die Schwerpunkte Straßen-, Bahn-, Landschafts- und Kanalplanung sowie Vermessung, Erd- und Wasserbau [12].

Die Planungssoftware zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus und verfügt über die für den digitalen Straßenentwurf erforderlichen Werkzeuge. Mit der Programmversion 10.0 wurde ein neues Straßenentwurfsmodul implementiert, das für die Planung von Verkehrsanlagen vorgesehen ist. Der Hersteller hat eine Straßenentwurfsmethodik ermöglicht, die sich auf die BIM-konforme Modellierung konzentriert und sich durch Automatisierung und Parametrisierung auszeichnet. In Fachkreisen wird für diese neue Entwurfsmethodik der Begriff "neuer Straßenentwurf" (kurz NSE) verwendet.

In der IBV GmbH soll langfristig ausschließlich mit dem NSE gearbeitet werden. Gegenwärtig findet die Anwendung des neuen Straßenentwurfs in nicht allen Projekten Anwendung, was unter anderem auf die technischen Probleme des NSE

zurückzuführen ist. Allerdings agiert IB&T in enger Kooperation mit Ingenieurbüros, um auftretende Probleme durch regelmäßige Aktualisierungen zu beheben und die Funktionalität sukzessive zu optimieren.

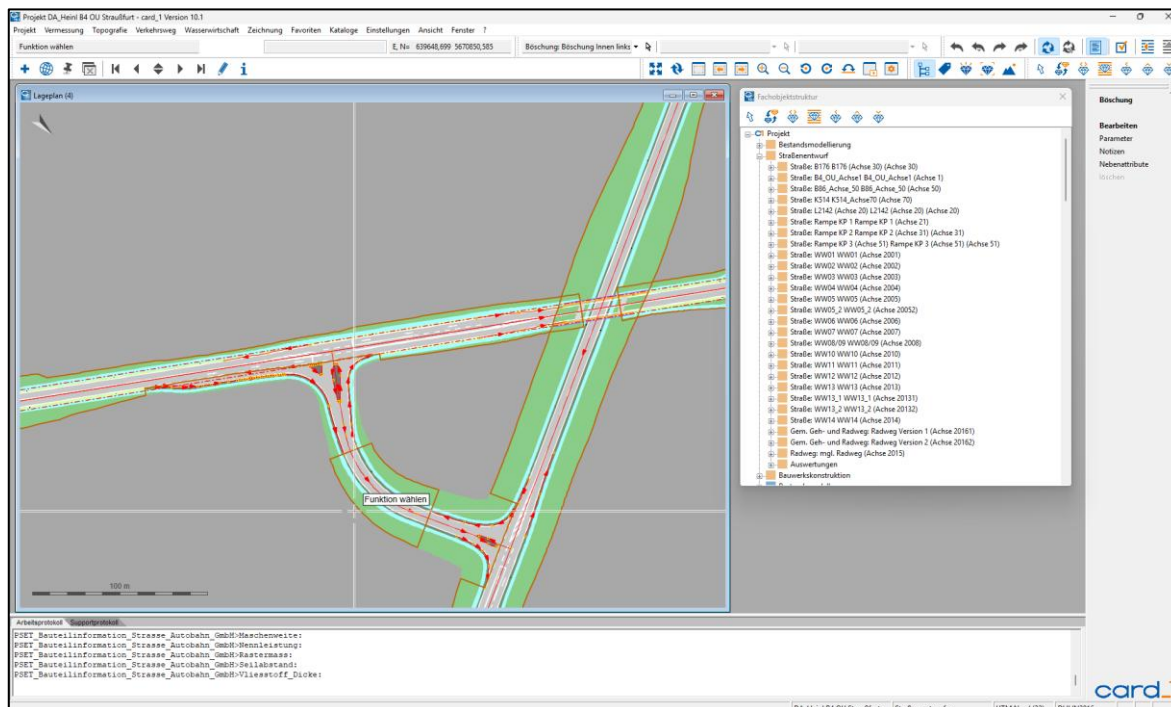


Bild 12: Programmoberfläche der Autorensoftware card_1 (Quelle: eigene Abbildung)

Für die Erzeugung von BIM-Modellen ist keine zusätzliche Software erforderlich. Die Anreicherung von 3D-Modellen durch die Verknüpfung mit weiteren Daten, wie beispielsweise eines Terminplans für die Bauablaufplanung, erfordert die Verwendung der Autorensoftware DESITE BIM, um eine höhere Dimensionalität zu erreichen [12, 13].

3.1.2 DESITE BIM

In der Autorensoftware DESITE BIM des Herstellers Thinkproject Holding GmbH werden im Unternehmen IBV die in Card_1 erstellten Bauwerksmodelle betrachtet, geprüft. Des Weiteren können einzelne Teil- und Fachmodelle zu umfassenden Koordinationsmodellen zusammengefügt werden.

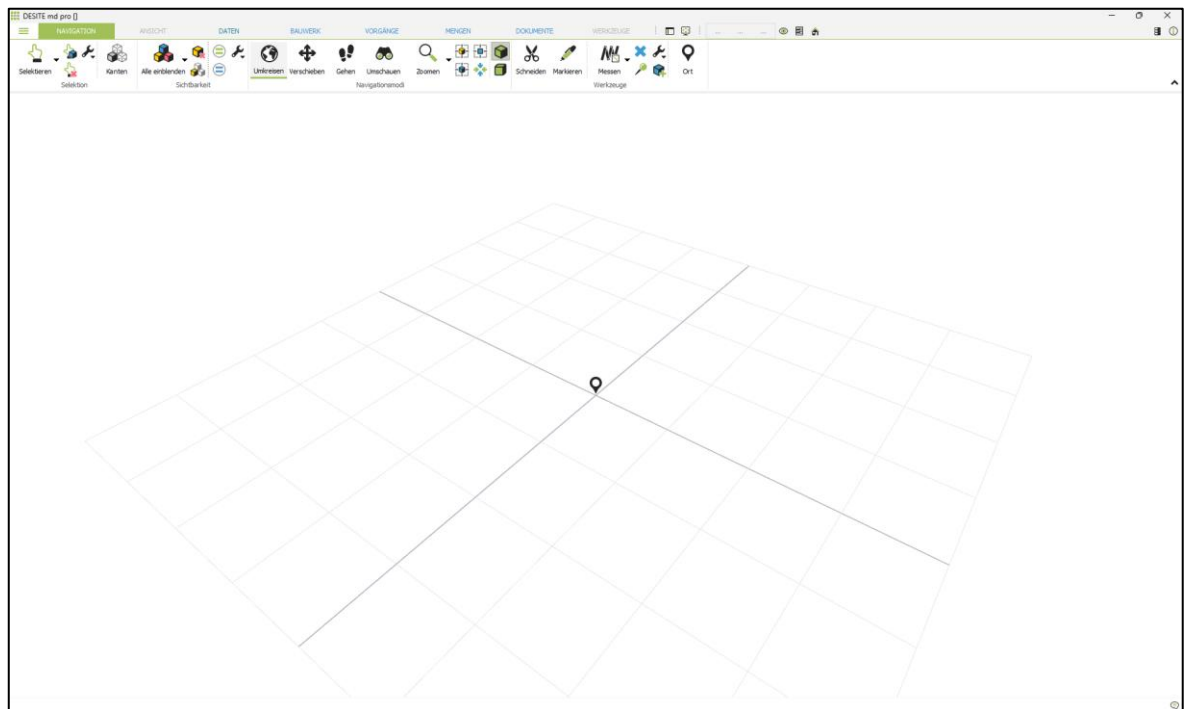


Bild 13: Programmoberfläche DESITE BIM (Quelle: eigene Abbildung)

Gegenwärtig findet DESITE in der IBV GmbH vornehmlich Anwendung zur Visualisierung in Besprechungsterminen sowie zur Koordinierung der einzelnen BIM-Modelle. Die Software dient grundsätzlich nicht der Erzeugung von Bauwerksmodellen oder der Attribuierung, allerdings können Änderungen in der Geometrie vorgenommen werden. Problematisch hierbei ist jedoch, dass die Änderungen nur im Koordinationsmodell stattfinden und nicht im Bauwerksmodell. Demnach sollten diese Änderungen nur in Ausnahmen durchgeführt werden. Aktuell beschränken sich diese auf Durchtrennen und Einkürzen von Modellelementen.

Neben diesen Anwendungsfällen bietet DESITE eine Vielzahl weiterer Funktionen, die bisher nicht voll ausgeschöpft werden. Dazu gehört die Realisierung von Bauabläufen aus extern erstellten Terminplänen. Außerdem bietet DESITE die Möglichkeit einer modellbasierten Mengenermittlung, die Erstellung von Leistungsverzeichnissen mit Kosten für Ausschreibungen auf Basis von Zuordnungen der Leistungspositionen. Mehr dazu folgt in Abschnitt 4 und 5 [14].

Die Autorensoftware verfügt zudem über eine Programmierschnittstelle, der sogenannten „API-Schnittstelle“. Hier können Eigenschaften von BIM-Modellen automatisiert über Skripte und Webforms geändert werden. Die dabei genutzte Programmiersprache „JavaScript“ bietet dem Anwender die Möglichkeit eigenständig individuelle Abläufe zu formulieren [15].

3.2 Fallbeispiele

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Fallbeispiele untersucht. Beide Projekte sind reale, aktuelle BIM-Projekte des Unternehmens IBV. Zur Ermöglichung eines besseren Verständnisses der in dieser Arbeit thematisierten Zusammenhänge werden in den nachfolgenden beiden Abschnitten eine kurze Projektbeschreibung beider Baumaßnahmen vorgenommen.

3.2.1 Fallbeispiel 1 – Attribuierung und Modellprüfung

Das erste Fallbeispiel wird zur Attribuierung und der regelbasierten Modellprüfung verwendet. Um die Hintergründe der

Die DEGES GmbH plant im Auftrag des Freistaats Thüringen den Ausbau der Bundesstraße B 4 zwischen dem Andislebener Kreuz und der BAB 38 AS Nordhausen. Die IBV GmbH wurde mit der Planung des Bauvorhabens und der damit neu entstehenden Verkehrsanlagen nach der BIM-Methode betraut.

Im Zuge der Umverlegung der B 4 unterbricht die neue Trasse einen ausgewiesenen Geh- und Radweg. Auf Anweisung der Landkreise soll die Verkehrsanlage für den NMIV weiterhin bestehen. Dementsprechend sollen zwei neue Varianten für den Geh- und Radweg ausgearbeitet werden.

Die erste Variante führt auf der alten Strecke entlang und überbrückt die B 4 mit einem Ü-Bauwerk, welches mit zwei steilen Rampen an den Bestandsweg angebunden wird. Die Verkehrsanlage misst eine Länge von 618 m und nimmt eine Fläche von 8.400 m² in Anspruch. Des Weiteren ist der Erdbau mit 17.200 m³ Auftrag erheblich. Auf Grund der hohen Gradienten und dem Ü-Bauwerk fallen neben den hohen Kosten, auch zahlreiche Beeinträchtigungen umweltfachlicher Kriterien an. Die Anlage 1 zeigt den Lageplan der Variante 1.

Die zweite Variante orientiert sich an der B 4 und führt entlang der B 4 und der Rampe des Knotenpunktes „Straußfurt-Süd“. Danach überquert sie diese im Bereich des Fußknotenpunktes und führt danach parallel entlang der L 2142. Sie misst eine Länge von 981 m und ist damit im Vergleich zu der Variante 1 deutlich länger. Die Trasse verläuft geländenah und beeinträchtigt mit einer Flächeninanspruchnahme von 7.500 m² die Umwelt gering. Die Kosten sind durch das Fehlen des Ü-Bauwerkes ebenfalls deutlich niedriger anzusetzen. Lediglich aus Sicht der Verkehrssicherheit besitzt die Planung Defizite, da eine Überquerung eines Knotenpunktes erforderlich ist. Die Anlage 2 zeigt den Lageplan der Variante 2.

Für die Attribuierung wird eine vollständige Mindestattributliste benötigt. Da die DEGES (Stand April 2026) diese nicht besitzt, sondern die benötigten Attribute im in den AIA oder BAP abgesprochen werden, nutzt dieses Modell die Eigenschaften der Autobahn GmbH. Die Erfahrungen aus anderen Projekten zeigten, dass die DEGES ähnliche Information wie die Autobahn GmbH fordert. Außerdem untersucht diese Diplomarbeit keine projektspezifische Planung, sondern verfolgt das Ziel projektübergreifende Arbeitsweisen zu entwickeln.

3.2.2 Fallbeispiel 2 – Bauablauf, Mengen- und Kostenermittlung

Das zweite Fallbeispiel wird zur Entwicklung eines Bauablaufplans, der Mengen- und Kostenermittlung in DESITE BIM verwendet. Das vorliegende Projekt wird nun kurz genauer erläutert.

Bei dem vorliegenden Entwurf der DEGES handelt es sich um die A 14 Magdeburg-Wittenberge-Schwerin (BAB 14) im Auftrag des Landes Sachsen-Anhalt. Der betrachtete Bereich befindet sich zwischen den geplanten AS Dahlenwarsleben und Haldensleben in der Nähe von Magdeburg.

Auf Grund der überregionalen, großräumigen Bedeutung als raumerschließende Bundesfernstraßenverbindung zwischen den Oberzentren Magdeburg und Schwerin wird die Autobahn in der Straßenkategorie A I – Fernstraße – eingestuft.

Die Trasse befindet überwiegend in Dammlage. Als Querschnitt kommt für die BAB 14 der Regelquerschnitt (RQ) 29,5 zur Anwendung. Das heißt es handelt sich um eine 2-bahnige Straße mit einem 4 streifigen Querschnitt mit 11,50 m Fahrbahnbreite je Richtungsfahrbahn und 3,50 m Mittelstreifen. In dem Bauabschnitt befinden sich zwei A-Bauwerke. Zu Beginn der Baustrecke ein Bahnquerungsbauwerk und in nördlicher Fortsetzung ein Stabbogenbrücke über den Mittellandkanal. Darüber hinaus sind zwei Durchlässe als Umweltmaßnahme im Zuge der Trasse geplant worden, welche gleichzeitig der Entwässerung dienen. Zum Schallschutz werden in den Bereichen der Ingenieurbauwerke beidseitig Lärmschutzwände installiert.

Die vom AG geforderten Attribute wurden im BAP in einer Mindestattributliste zusammengefasst. Der genaue Trassenverlauf ist in den zwei Lageplänen der Anlage 3 und 4 dargestellt.

4 Attribuierung von Bauwerksmodellen

4.1 Attribute

Attribute, die in der Literatur auch als Eigenschaften (engl. properties) bezeichnet werden, sind Informationen, die Modellelementen zugeordnet werden. Alle Elemente eines bestimmten Typs besitzen denselben Attributnamen, jedoch unterschiedliche Werte. Unterschieden wird zwischen Basisattributen und spezifischeren Attributen. Letztere gelten nur für bestimmte Modellelemente, während Basisattribute (z. B. LOG und LOI) jedem Bauteil zugewiesen werden.

Gemäß der Festlegung von BIM4INFRA können die Begrifflichkeiten "Merkmal" und "Attribut" gleichgesetzt werden. Diese Gleichsetzung wurde ebenfalls von der DEGES übernommen. An diese Regelung schließt sich die vorliegende Arbeit an.

Neben den Attributen gibt es auch die ihnen übergeordneten Property Sets (kurz: Psets). Diese fassen Merkmale in Gruppen zusammen.

4.2 Modellerzeugung im neuen Straßenentwurf

Die Grundlage der Attribuierung bei der IBV GmbH ist die Erstellung eines Bauwerksmodells. Mit dem NSE ermöglicht die Autorensoftware card_1 das Erstellen von dreidimensionalen, BIM-kompatiblen Bauwerken. In diesem Abschnitt erfolgt eine kurze Erläuterung der Erzeugung der Verkehrsanlage als Vorbereitung zur Attribuierung eingegangen.

Die Grundlage der Planung bildet ein digitales Geländemodell (DGM), das aus einer Vielzahl von Vermessungspunkten besteht, die zu einem Netz vermascht sind. Im Gegensatz zu vorherigen Methoden zur Modellerzeugung erfolgt die Erstellung des Straßenkörpers nun parametrisiert über die ab der Version 10 implementierte Programmfunktion „Straße entwerfen“. Der Vorteil dieser Funktion besteht darin, dass BIM-Modelle ohne vorherige Berechnung von Querprofilen oder Profillinien erzeugt werden können. Der NSE erfordert lediglich eine Achse, eine Gradienten- und Breiten- sowie Querneigungsbänder als Ausgangsdaten. Gemäß den Standardwerten sowie den aktuellen Richtlinien, die in den entsprechenden Katalogen der Autorensoftware gepflegt sind, werden alle weiteren benötigten Informationen bereitgestellt.

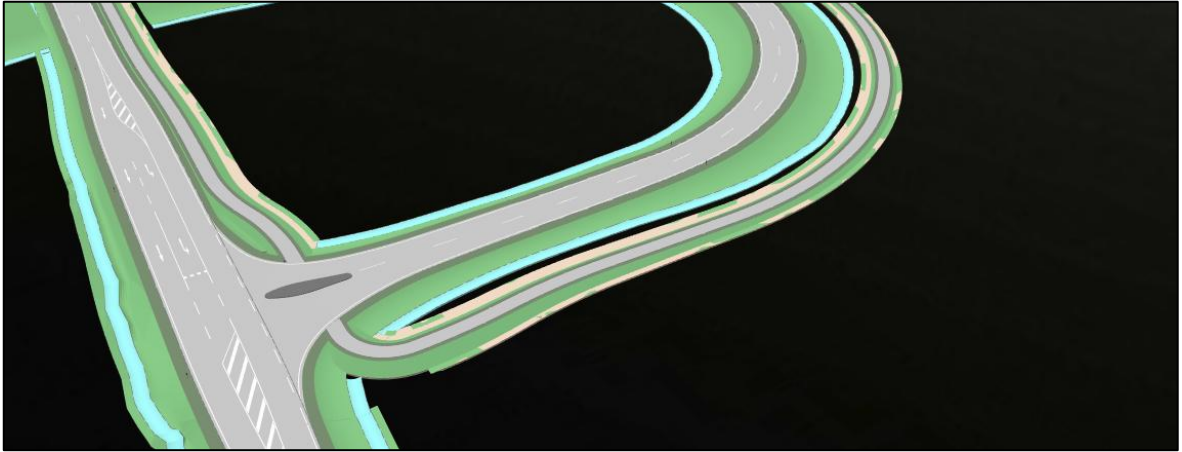


Bild 14: BIM-Modell aus dem NSE (Quelle: eigene Abbildung)

Der Prozess der Modellerzeugung initiiert mit der Selektion der Ausgangsdaten und der Festlegung der Entwurfparameter. Im Rahmen der Programmfunktion "Straße entwerfen" besteht für den Anwender die Möglichkeit, eine Auswahl zwischen verschiedenen Verkehrswegen zu treffen. Hierzu zählen Autobahnen, Landstraßen, Stadtstraßen sowie Radverkehrsanlagen. Im Anschluss erfolgt die Selektion des Regelquerschnitts sowie die Bemessung des Oberbaus gemäß RStO mittels Klassifizierung und Verkehrsbelastung. Die Festlegung der Parameter wird durch `card_1` als Eingabemodell bezeichnet. Die Bearbeitung und Ergänzung sind in weiterer Folge möglich. Neben einzelnen Straßen mit Ausstattung können Knotenpunkte und Ingenieurbauwerke generiert werden.

Die erzeugten Modelle weisen einen geometrischen Detaillierungsgrad von bis zu LOG 300 auf, enthalten jedoch keine alphanummerischen Modelleigenschaften. Diese Schlussfolgerung lässt sich daraus ableiten, dass bei der Modellierung lediglich Materialangaben verarbeitet werden und der Zugriff auf den Nebenattributkatalog nicht erforderlich ist. In der Konsequenz enthalten die Bauwerke ausschließlich die IFC-Standardattribute, sodass der Grad der alphanummerischen Detaillierung nicht über einem LOI von 100 liegt. Dies bedeutet, dass der Ausarbeitungsgrad lediglich den Wert LOD 100 (Vorplanung) erreicht. Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Attribute.

Im Vergleich zu herkömmlichen Entwurfsmethoden ist erweist sich der parametrisierte Straßenentwurf als signifikant effizienter. Gleichzeitig befindet sich der NSE noch in der Entwicklung und ist nicht vollumfänglich anwendbar. Die Herausforderung für den Planer besteht darin, die Modelle mit höchster Präzision und unter Berücksichtigung der technischen Gegebenheiten umzusetzen und gegebenenfalls

alternative Lösungen bei Fehlern im NSE zu identifizieren. Dennoch überwiegen die Vorteile, weshalb bei der IBV GmbH eine flächendeckende Implementierung des parametrisierten Straßenentwurfs angestrebt wird.

4.3 Implementierung eines effizienten Arbeitsablauf

Um einen effizienten Arbeitsablauf entwickeln zu können, muss zunächst der Begriff und dessen Bedeutung im Kontext der Attribuierung erläutert werden.

Die Effizienz bezieht sich nicht allein auf das Erreichen eines Ziels, sondern betrachtet dabei auch den benötigten Aufwand, der zur Umsetzung erforderlich ist. Somit steht das „Wie“ im Fokus dieser Betrachtung. Die Effizienz ist demnach handlungsbezogen und kann als Wirkungsgrad der eingesetzten Energie im Verhältnis zum erzielten Ergebnis beschrieben werden. Bei Unternehmen wird die Energie oftmals mit der Zeit gleichgesetzt, welche im direkten Zusammenhang mit dem monetären Aufwand des Unternehmens steht.

Somit sollte bei der Attribuierung der Zeitaufwand minimiert werden. Zusammenfassend kann die Effizienz bei der Modellerstellung auch mit folgender vereinfachender Formel dargestellt werden:

$$\text{Effizienz der Modellierung} = \text{Ergebnismodell} / \text{Zeitaufwand} \quad (2)$$

Eine Reduktion des erforderlichen Zeitaufwands bei der Modellierung ist essenziell, um eine Effizienzsteigerung im Arbeitsprozess zu erzielen. Eine Vielzahl von Faktoren ist für diesen Zusammenhang von Relevanz. Um den Überblick zu bewahren, empfiehlt es sich, den Fokus auf die etablierten Abläufe und Arbeitsweisen im Umgang mit der Autorensoftware zu richten. Gemäß der Rechercheergebnisse in der Fachliteratur sowie den persönlichen Erfahrungen des Autors bei seiner Tätigkeit im Ingenieurbüro müssen drei Komponenten für eine effiziente Arbeitsweise sichergestellt werden:

- Strukturen
- Standards und
- Automatismen.

4.3.1 Ausgangssituation

In der Fachobjektstruktur (siehe Bild 15) erfolgt die Darstellung des Aufbaus des Modells in baumartig Form. Die gelben Objekte stellen das Entwurfsmodell dar, in

dem Straßen generiert und parametrisiert werden. Die blauen Objekte stellen das Ergebnismodell dar, welches aus den zuvor erzeugten Entwurfsmodellen hervorgeht. Eine Modifikation der Geometrie ist nicht möglich, jedoch werden durch die Verwendung zusätzliche Informationen bereitgestellt und die Attribuierung ermöglicht.

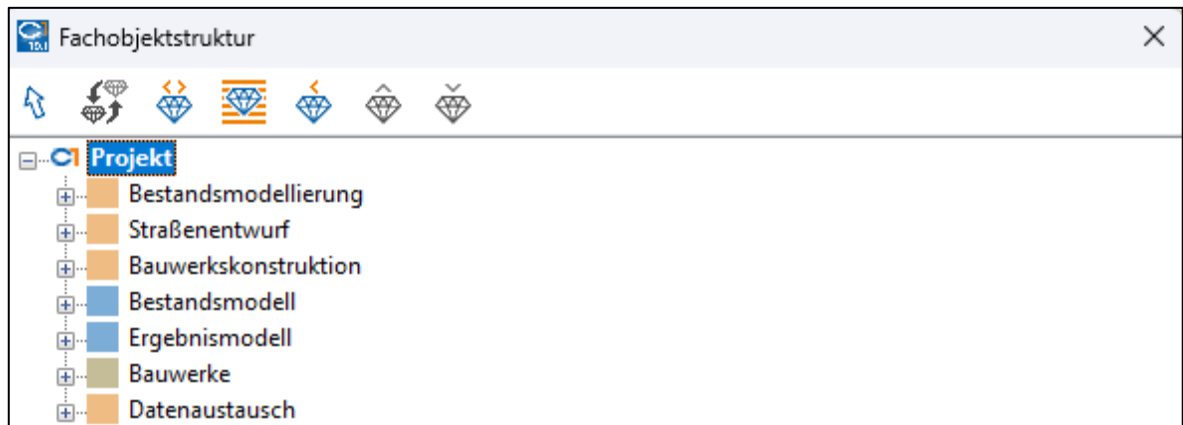


Bild 15: Fachobjektstruktur (Quelle: eigene Abbildung)

Öffnet man das Ergebnismodell bekommt man schnell einen Überblick über den Aufbau des Fachmodells (siehe Bild 17).

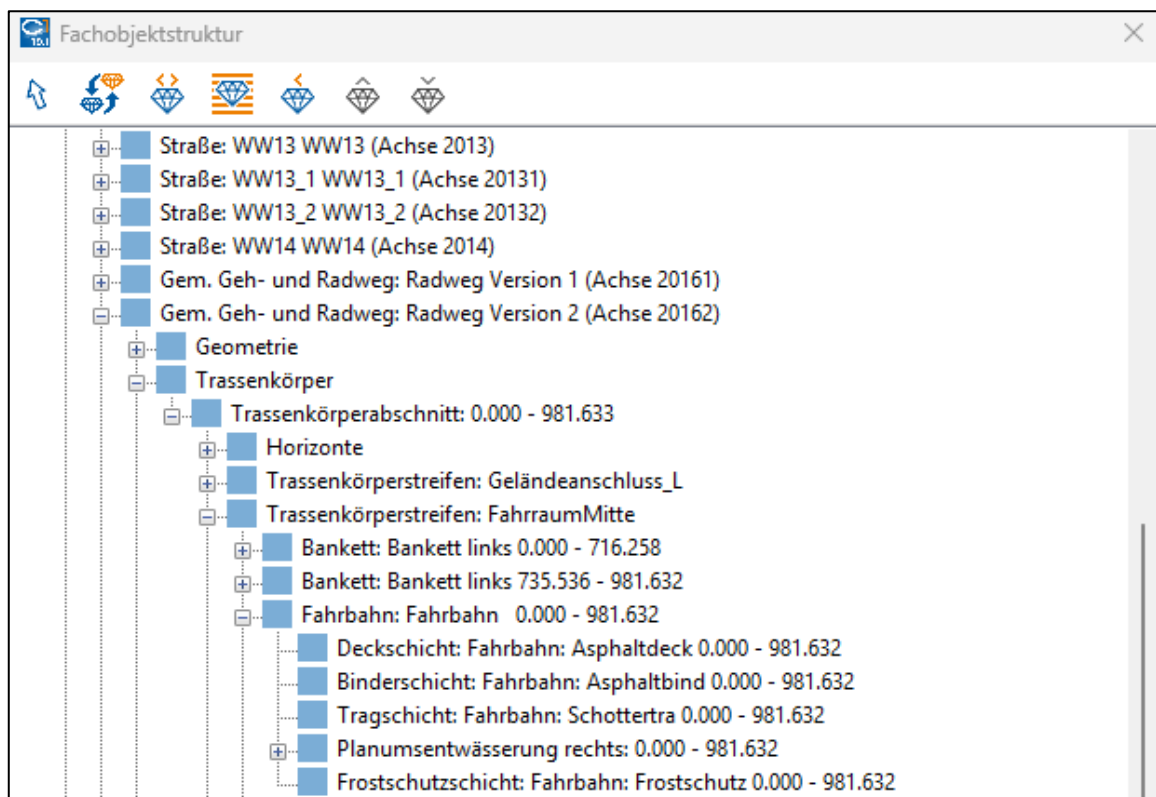


Bild 16: Aufbau eines Ergebnismodells (Quelle: eigene Abbildung)

Die Projektstruktur weist einen baumartig aufgebaut und weist eine hierarchische Gliederung der Fachobjekte auf. Dieser Aufbau dient der Vererbung von Attributen

von übergeordneten Elementen (Vater-Elemente) auf untergeordneten Elementen (Kind-Elemente).

Diese Vorgehensweise erweist sich bei spezifischen Bauteilen als vorteilhaft, wie beispielsweise bei dem Element Trassenkörperstreifen: Geländeanschluss_L, in dem die linke Böschung modelliert ist. In Bereichen, die durch Knotenpunkte charakterisiert sind, kann dieses Bauteil Aussparungen aufweisen, da an diesen Stellen keine Böschung erzeugt wurde. Daher ist das Element Trassenkörperstreifen: Geländeanschluss_L im Ergebnismodell in mehrere Abschnitte unterteilt. Für die Attributierung genügt es jedoch, das übergeordnete Väterelement Trassenkörperstreifen: Geländeanschluss_L mit den geforderten Attributen zu versehen, da diese an die untergeordneten Kind-Elemente vererbt werden.

In der nachfolgenden Untersuchung wird die Deckschicht eines Wirtschaftsweges attribuiert. Um das Modellelement zu selektieren, hat der Planer die Möglichkeit, entweder eine grafische Auswahl zu treffen oder das Element in der Fachobjektstruktur zu wählen. Im Anschluss ist im Menü den Befehl "Bearbeiten" und anschließend die Option "Nebenattribute" auszuwählen. Dort besteht die Möglichkeit, ein "einfaches Nebenattribut" anzulegen.

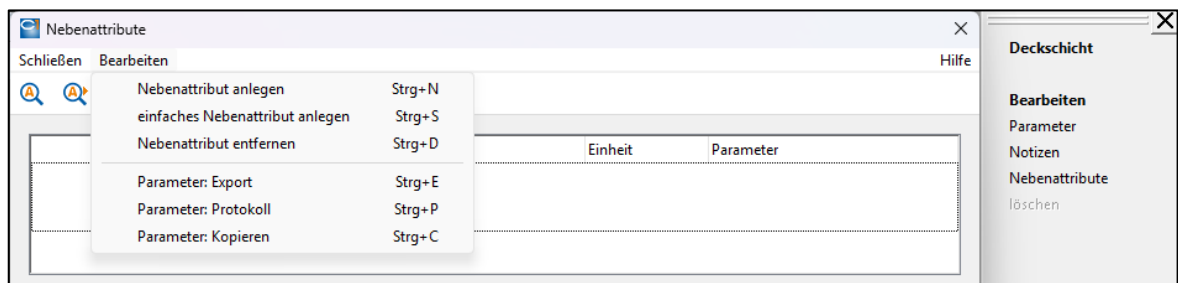


Bild 17: Neues Attribut im Fachobjekt Deckschicht anlegen (Quelle: eigene Abbildung)

Im darauffolgenden Schritt ist es erforderlich, den Namen, den Wert sowie gegebenenfalls die Einheit des jeweiligen Attributes manuell einzutragen. Für die Realisierung dieses Vorhabens ist die Konstruktion eines Wirtschaftsweges mit einer Deckschicht aus Splitt-Sand vorgesehen.

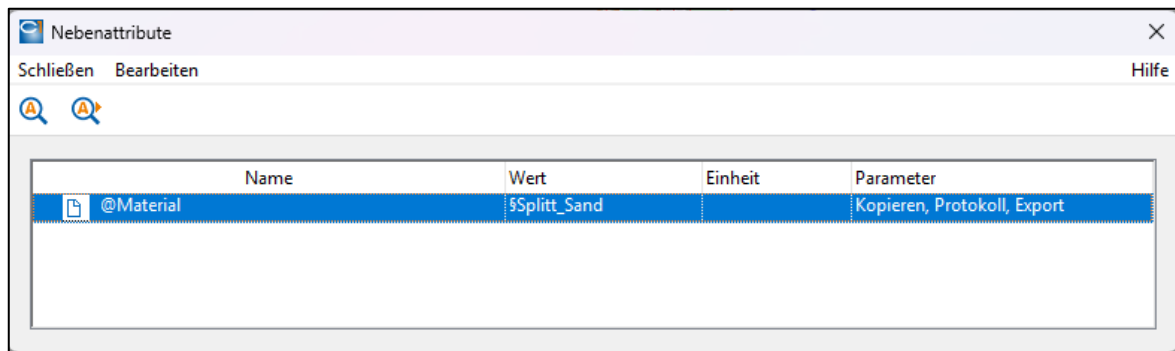


Abbildung 18: Manuell angelegtes Attribut "Material" (Quelle: eigene Abbildung)

Die aus der beschriebenen Vorgehensweise hervorgehende Ausgangssituation der Attribuierung ist derzeit als ineffizient zu bewerten. Der zeitliche Aufwand ist signifikant, insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass einzelnen Modellelementen bis zu 30 Attribute zugeordnet werden können. Darüber hinaus ist eine manuelle Eingabe fehleranfällig und kann zu unzulässigen Werten führen. In Anbetracht dessen ist die Suche nach einer effizienteren Methode zur Attribuierung der nächste logische Schritt im Planungsprozess.

4.3.2 Vorgehensweise

Die zunehmende Komplexität der AIA, die mit einer steigenden Anzahl an Attributen einhergeht, führt dazu, dass die in Abschnitt 4.2.1 beschriebene herkömmliche Methode bei der IBV GmbH ihre Grenzen erreicht. Die manuelle Attribuierung jedes einzelnen Modellelements erfordert einen beträchtlichen Zeit- und Arbeitsaufwand. Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde ein Ansatz entwickelt, der die Aufgaben des zuständigen Fachplaners bei der Attribuierung auf ein Minimum reduziert.

Die Veranschaulichung des effizienten Arbeitsprozesses erfolgt anhand eines spezifischen Beispiels, das einer ausführlichen Erläuterung unterzogen wird. Die Zuweisung von Informationen basiert auf einer detaillierten und präzisen Mindestattributliste, die durch den Auftraggeber bereitgestellt wird. Die Bereitstellung der Attribute der Autobahn GmbH bildet die Grundlage der vorliegenden Arbeit. Im Folgenden wird diese nun kurz erläutert:

Pset 1 Klassifizierung			Pset 2 Bauteilinformation_Strasse
Objektgruppe	Objektklasse	Objekttyp	
Fahrbahnschicht			
	Aufbauschicht	Aufbauschicht	Pset 2 Bauteilinformation_Strasse Variante 26
		Deckschicht	Pset 2 Bauteilinformation_Strasse Variante 27
		Binderschicht	Pset 2 Bauteilinformation_Strasse Variante 26
		Tragschicht	Pset 2 Bauteilinformation_Strasse Variante 28

Bild 19: Auszug aus der Mindestattributliste der Autobahn GmbH (Quelle: eigene Abbildung)

Gemäß der Mindestattributliste erfolgt die Aufteilung der Attribute in zwei Psets. Das Pset 1 zur Klassifizierung umfasst drei Attribute: Objektgruppe, Objektklasse und Objekttyp. Es beschreibt die Art des Modellelements und seine Funktion. Werden beispielsweise einer Deckschicht Attribute zugewiesen, erhält sie die folgenden Werte für Pset 1:

Tabelle 3: Pset 1 Werte für Objekttyp Deckschicht (Quelle: eigene Abbildung)

Attribut	Wert
Objektgruppe	Fahrbahnschicht
Objektklasse	Ausbauschicht
Objekttyp	Deckschicht

Der Wert des Objekttyps definiert die erforderlichen Merkmale für das Modellelement im Pset 2 „Bauteilinformation_Strasse“ erforderlich sind. Im Gegensatz zu Pset 1, wo stets dieselben Attribute verlangt werden, werden für jeden Objekttyp unterschiedliche Attribute vom AG gefordert. In Bild 20 findet sich eine Auflistung der Attribute des Objekttyps „Deckschicht“ auf. Neben den objektspezifischen Attributen existieren zudem sogenannte Basisattribute, die für jedes Bauteil verpflichtend sind. Dazu gehören LOG, LOI, die Art der Baumaßnahme, die Quelle/Herkunft der Daten sowie Bemerkungen.

Pset 2 Bauteilinformation_Strasse Variante 27
Lieferbedingungen
LOG
LOI
Material
Art der Baumassnahme
Quelle/Herkunft der Daten
Verdichtungsgrad
Verformungsmodul
Verkehrsflaeche
von Betriebskilomter
Bauphase
Baustoffgemisch aus
Belastungsklasse
Bemerkung
bis Betriebskilometer
Herstellungsjahr
Spezifikation

Bild 20: Pset 2 Attribute für Objekttyp Deckschicht (Quelle: eigene Abbildung)

Alle Attribute der Psets „Klassifizierung“ und „Bauteilinformation_Strasse“ sind in Anlage 5 und 6 dargestellt.

Um die Attribute nicht einzeln wie in Abschnitt 4.3.1 anzulegen, können sogenannte Nebenattributdefinitionen unter dem Punkt Kataloge in der Titelleiste angelegt werden (siehe Bild 21):

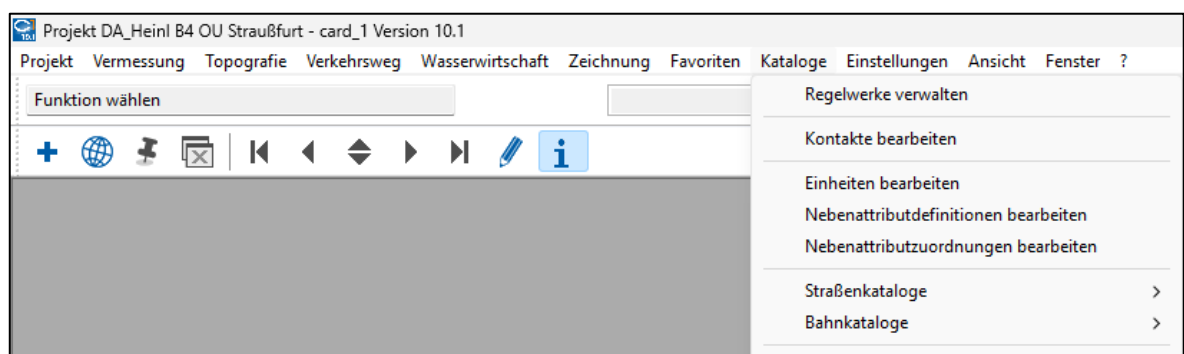


Bild 21: Nebenattributkataloge anlegen (Quelle: eigene Abbildung)

Um die Anwendung möglichst benutzerfreundlich zu gestalten und den Fachplaner nicht mit einem neuen System zu konfrontieren, sollte die Struktur der Mindestattributliste in die Attribuierung in card_1 eingepflegt werden. Dies impliziert, dass die Struktur mit den Psets beibehalten werden muss.

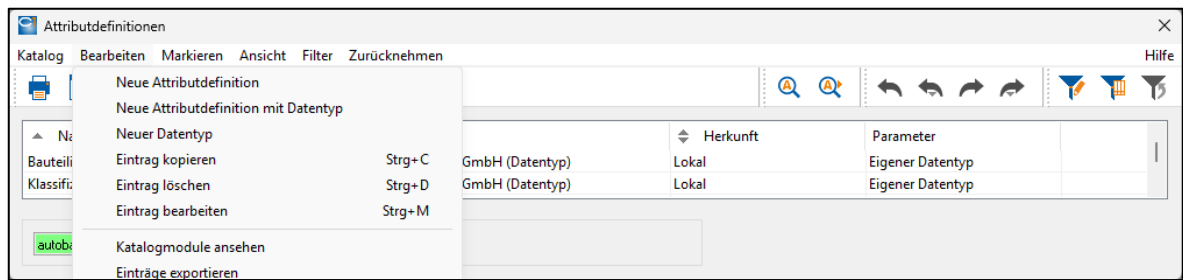


Bild 22: Neuen Datentyp definieren (Quelle: eigene Abbildung)

Anstatt einer individuellen Definition jedes Attributs im Nebenattributkatalog, ermöglicht card_1 die Aggregation mehrerer Merkmale innerhalb eines einzigen Datentyps. Die Einteilung erfolgt in Anlehnung an die Struktur der Property Sets. Somit bleibt die bisherige Struktur aus der Mindestattributliste bestehen.

Im Nebenattributsdefinitions-katalog erfolgt die Anlage neuer Datentypen für die beiden Psets (Bild 22). Die Bezeichnungen "Klassifizierung" und "Bauteilinformation_Straße" werden gemäß Bild 23 verwendet.

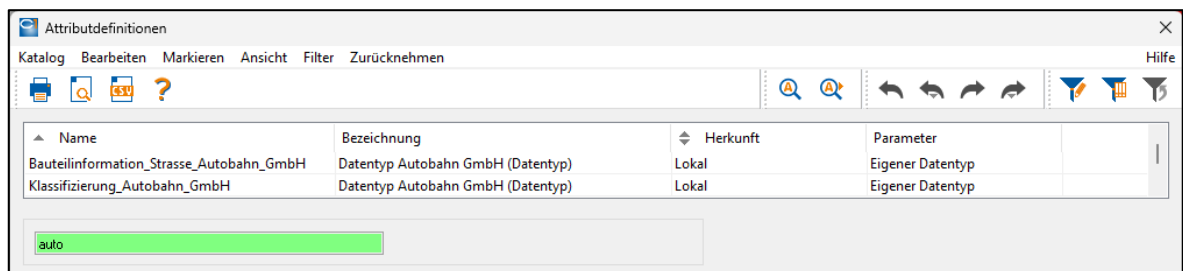


Bild 23: Datentypen Bauteilinformation_Straße und Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Im nächsten Schritt werden die vorgegebenen Attribute in das Fenster „Bestandteile“ übertragen. Für die Klassifizierung sind die Objektgruppe, Objektklasse und der Objekttyp (Bild 23) von Relevanz.

Datentyp bearbeiten

Allgemein Bestandteile

☒ Zugeordnete Attribute:

Attributdef...	Bezeichnung	Datentyp	Einheit
Objektgru...	(Attribut) Wertvorg...	NText	
Objektklasse	(Attribut) aus Nebe...	NText	
Objekttyp	(Attribut) aus Nebe...	NText	

Neue Referenz Neu Privat Neu Privat (Datentyp) **Attribut zeigen** Löschen ▲ ▼

OK Abbrechen

Bild 24: Attribute des Datentyps Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Der zuvor beschriebene Prozess wird für den Datentyp "Bauteilinformation_Strasse" wiederholt. Wie bereits dargelegt, weisen die Attribute des zweiten Psets je nach Objekttyp Unterschiede auf. Es besteht die Möglichkeit, die Entscheidung zu treffen, für jeden Objekttyp einen neuen Datentyp anzulegen. Dieser Ansatz ist jedoch mit einem Mehraufwand verbunden. Da card_1 nur Attribute mit Wert exportiert können alle Attribute (siehe Anlage 6) in einen Datentyp geschrieben werden. In Anbetracht der zuvor getroffenen Festlegungen können folglich sämtliche in Pset 2 seitens des Auftraggebers geforderten Merkmale in denselben Datentyp übertragen werden.

Attributdefinition bearbeiten

Allgemein Definition Objektarten zuordnen

Definition

✓ Grundgröße: Text

✓ Einheit: ☒ Standardeinheit aus Projekteinstellung

✓ Vorbelegung: Wertvorgabe

✓ Indizierung: ☐

✓ Tooltip:

✓ zulässige Werte: Entwaesserung;Trassierungselement;Annotation;Fahrbahnschicht;Einfassung;Randbefestig

✓ externer Name:

Verhalten

✓ Werte bei Aktualisierung erhalten: ☐

✓ Attribut automatisch einfügen: ☒

✓ Attribut mit Objekt kopieren: ☒

✓ Attribut bei Objektwahl protokollieren: ☒

✓ Attribut exportieren: ☒

✓ Definition nicht in Auswahl: ☐

Verwendung

✓ nur für Objektelement: ☐

✓ nur in Datentyp: ☐

OK Abbrechen

Bild 25: Attributdefinition bearbeiten und konfigurieren (Quelle: eigene Abbildung)

Im nächsten Schritt werden die Attribute detaillierter beschrieben und ihr Verhalten konfiguriert (Bild 25). Zunächst besteht die Möglichkeit, die Grundgröße einzustellen und die dazugehörige Standardeinheit aus den Projekteinstellungen zu übernehmen. So erspart sich der Planer eine anschließende Nachbearbeitung der Einheit.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, für den Wert eine Vorbelegung zu definieren. Es besteht die Möglichkeit, dies auf zwei verschiedene Arten zu realisieren. Zum einen kann ein fester Wert dem Attribut zugeordnet werden. Ein Beispiel für eine derartige Vorgehensweise ist das Merkmal "Quelle/Herkunft der Daten" aus dem Pset "Bauteilinformation_Straße", da der Wert in den meisten Fällen "IBV GmbH" lautet. Der signifikante Vorteil dieser Lösung besteht darin, dass der Planer das Feld nicht mehr manuell bearbeiten muss. Neben dieser statischen Wertzuweisung besteht die Möglichkeit, Attribute auch mit Informationen aus einem Objekt oder aus anderen Nebenattributen zu belegen.

Neben der Möglichkeit der Wertvorgabe kann auch die Vorbelegung aus den Nebenattributen ausgewählt werden. Hier ist kein spezifischer Wert vorgegeben und die Attribuierung erfolgt manuell durch den Planer wie in Abschnitt 4.3.1.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Definition zulässiger Werte. Die in dieser Aufzählung aufgeführten Werte können zu einem bei der Attribuierung selektiert werden. Der Basiswert ist stets „NotDefined“, da Eigenschaften ohne Wert, wie bereits erwähnt, nicht im IFC-Export berücksichtigt werden. Da alle Attribute aus der Mindestattributliste aber trotzdem im Fachmodell vorhanden sein müssen, fungiert er als Platzhalter, bis eine ausreichende Anzahl an Informationen für eine korrekte Attribuierung vorliegen. Es besteht die Möglichkeit, nach dem Basiswert weitere fachlich korrekte Werte hinzuzufügen. In der Anwendung wird durch Klicken mit der rechten Maustaste auf das Wertefeld der Eigenschaft ein Kontextmenü geöffnet, in dem die zulässigen Werte aufgeführt sind. Diese Funktion verhindert jedoch die manuelle Eingabe von Werten. Die Ergänzung eines neuen Werts erfordert zunächst dessen Integration in die Attributdefinition, um die Konsistenz mit den bestehenden, zulässigen Werten zu gewährleisten. In der Folge werden die Attribute kontinuierlich mit neuen Werten erweitert. Die Anzahl zulässiger Werte nimmt bei Anwendung dieser Methode kontinuierlich zu, was zu einer effizienteren Attribuierung führt, da weniger neue Werte über die Zeit hinzugefügt werden müssen. Diese Methode erweist sich allerdings lediglich als sinnvoll für Attribute, die wiederkehrende Werte aufweisen. Für spezifische Attribute, wie beispielsweise das Merkmal "Bemerkungen", ist sie hingegen nicht anwendbar.

Im Property Set "Klassifizierung" besteht die Möglichkeit, die zulässigen Werte für die Attribute Objektgruppe, -klasse und -typ aus der Mindestattributliste abzuleiten. Da es hier nur für jedes Modellelement ein durch den AG bestimmter Wert gibt, wird die Definition von zulässigen Werten den Planer erheblich erleichtert.

Neben der Definition des Attributs besteht auch die Möglichkeit, dessen Verhalten zu konfigurieren. In diesem Fall ist der Bearbeiter zuständig, die Entscheidung zu treffen, ob das Attribut bei der Aktualisierung eines generierten Ergebnisobjektes (Bauwerk oder Fachobjekt) erhalten bleiben soll. Die Option, das Attribut automatisch einzufügen, soll aktiviert sein, sofern eine objektartspezifische Nebenattributzuordnung vorliegt. Dies dient der Sicherstellung, dass das Objekt automatisch mit der fachspezifischen Vorbelegung attribuiert wird. Darüber hinaus wird bei der Selektion des Attributs mit Objekt kopieren das Attribut mit übernommen. Es sei

darauf hingewiesen, dass ausschließlich in diesem Bereich Nebenattribute in card_1 kopiert werden können. Diese Einschränkung ist darauf zurückzuführen, dass das Programm eine interne Unterscheidung zwischen geometrischen und alphanummerischen Informationen vornimmt. Eine der essenziellen Einstellungen ist das Attribut zu exportieren, da in dieser Kategorie angegeben wird, inwiefern die Eigenschaft beim Datenaustausch berücksichtigt wird.

Eine weiterhin relevante Fehlerquelle ist die Eingabe des korrekten Werts durch den Planer. Die Realisierung der automatischen Zuordnung in der Autorensoftware card_1 ist nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Die Konfiguration dieser Einstellungen ist für jedes Attribut des Datentyps separat erforderlich.

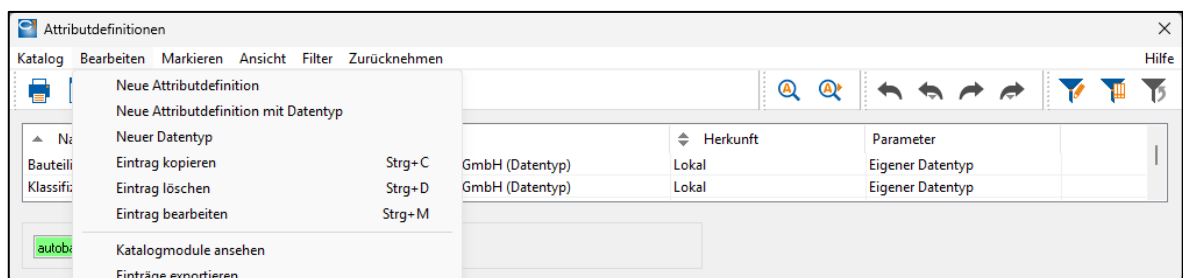


Bild 26: Neue Attributdefinition mit Datentyp anlegen (Quelle: eigene Abbildung)

Im darauffolgenden Schritt erfolgt die Zuordnung der Datentypen zu den Modellelementen. Dazu wird für jedes der Psets der Eintrag „Attributdefinition mit Datentyp“ angelegt (Bild 26).

In Bild 27 wird die Möglichkeit zur Bearbeitung der Definition und des Verhaltens dargestellt. Zunächst wird der Datentyp festgelegt, auf den sich die Attributdefinition beziehen soll. Außerdem kann ein externer Name vergeben werden. Es ist essenziell, dass das Verhalten vom Datentyp identisch übernommen wird, um eine fehlerhafte Ausgabe zu vermeiden. Der Einsatz einer Attributdefinition mit Datentyp bietet den Vorteil, dass eine Zuordnung von Objektarten, also Modellelementen, zu den Attributen möglich ist.

Attributdefinition bearbeiten

Allgemein Definition Zugeordnete Attribute Objektarten zuordnen

Definition

✓ Datentyp:

✓ Indizierung: ☐

✓ Tooltip:

✓ externer Name:

Verhalten

✓ Werte bei Aktualisierung erhalten: ☐

✓ Attribut automatisch einfügen: ☒

✓ Attribut mit Objekt kopieren: ☒

✓ Attribut bei Objektwahl protokollieren: ☒

✓ Attribut exportieren: ☒

✓ Definition nicht in Auswahl: ☐

Verwendung

✓ nur für Objektelement: ☒

✓ nur in Datentyp: ☐

OK Abbrechen

Bild 27: Attributdefinition mit Datentyp für das Pset Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Die Effektivität der Zuordnung ist an die Bedingung geknüpft, dass das Attribut des entsprechenden Modellelements lediglich einen zulässigen Wert annehmen kann. Für das Pset 2 Bauteilinformation_Strasse ist eine derartige Verknüpfung nicht realisierbar, während in dem Pset 1 Klassifizierung für die Attribute der Werte in der Mindestattributliste vorgegeben ist. Darüber hinaus ist für eine derartige Zuordnung eine Klassifizierung der Objektart in card_1 erforderlich. Dies impliziert, dass die Software dazu in der Lage sein muss, die Funktion des Bauteils im Modell zu erkennen. Sie ist beispielsweise dazu angehalten, zwischen den Unterschieden eines Banketts und einer Böschung zu differenzieren. Diese Unterscheidung erfolgt mittels interner Codes. Diese Aussage trifft zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht auf sämtliche Modellelemente zu. Das Bild 28 präsentiert eine Auswahl der Objektarten, die von card_1 differenziert werden können. Die Verknüpfung von Modellelementen und Attributen mit korrekten Werten erfolgt in dem in der Attributdefinition in dem Feld „Objektarten zuordnen“.

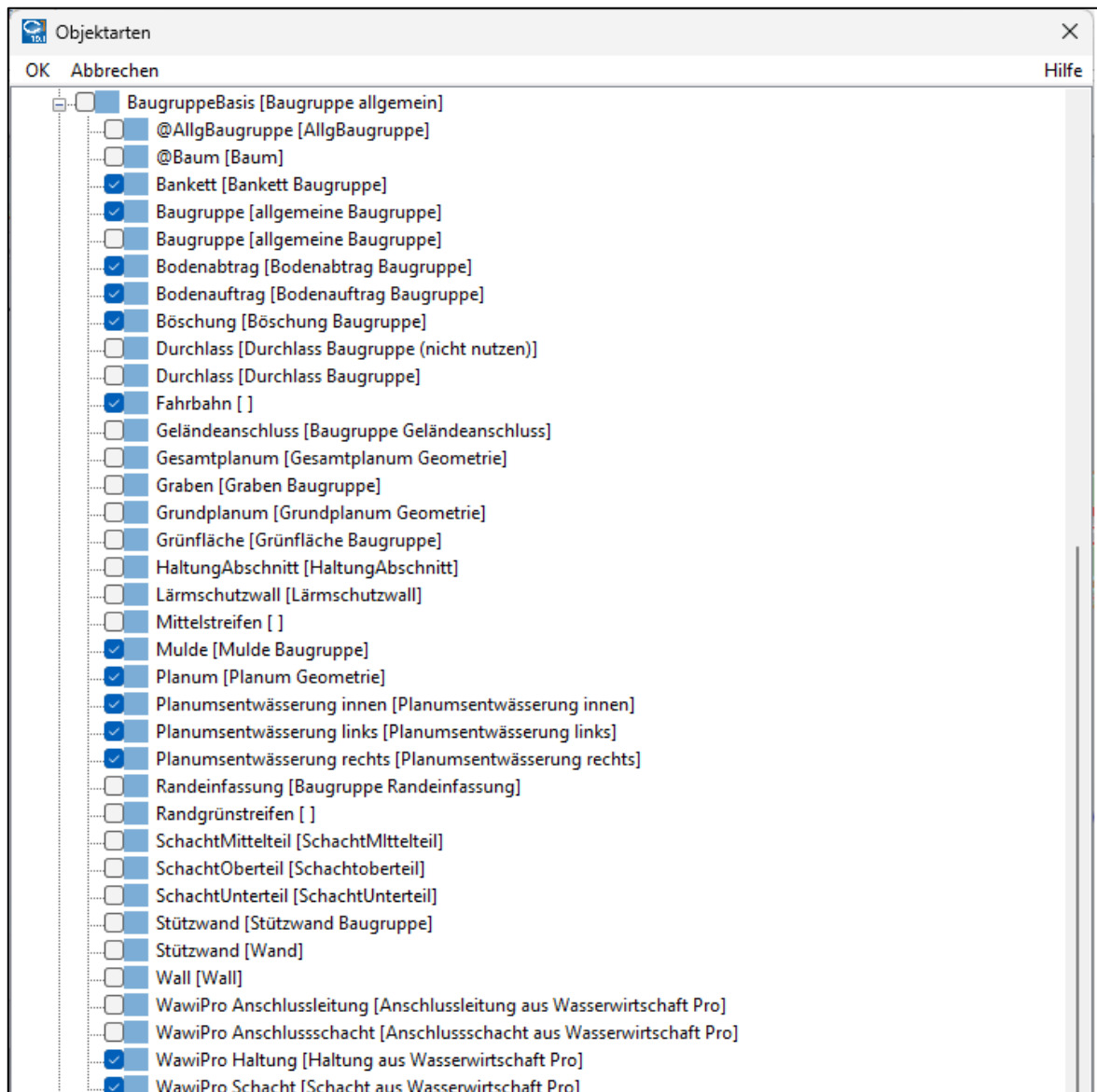


Bild 28: Auszug der von card_1 erzeugten Objektarten (Pset 1) (Quelle: eigene Abbildung)

Daraufhin öffnet sich ein Fenster, in dem sämtliche Objektarten der Reihe nach aufgeführt werden (siehe Bild 28). Es wird verdeutlicht, dass die einzelnen Bauteile und Baugruppen einer hierarchischen Sortierung unterliegen. Im Zuge der Erstellung der Zuordnung für das Property Set 1 ist es essenziell, dass der Bearbeiter eine Differenzierung vornimmt zwischen den Objektarten, die sowohl in der Mindestattributliste als auch in card_1 präsent sind. Bei Übereinstimmungen erfolgt eine direkte Zuordnung, die durch einen blauen Haken bestätigt wird.

Demgegenüber werden bei den Merkmalen des Property Sets "Bauteilinformation_Strasse" stets alle Objektarten markiert, da in diesem Fall keine automatische Attribuierung erfolgt. An dieser Stelle endet die Konfiguration im

Nebenattributdefinitions-katalog für das Property Set 2. Die weiteren Schritte werden im **Abschnitt 4.4** erläutert.

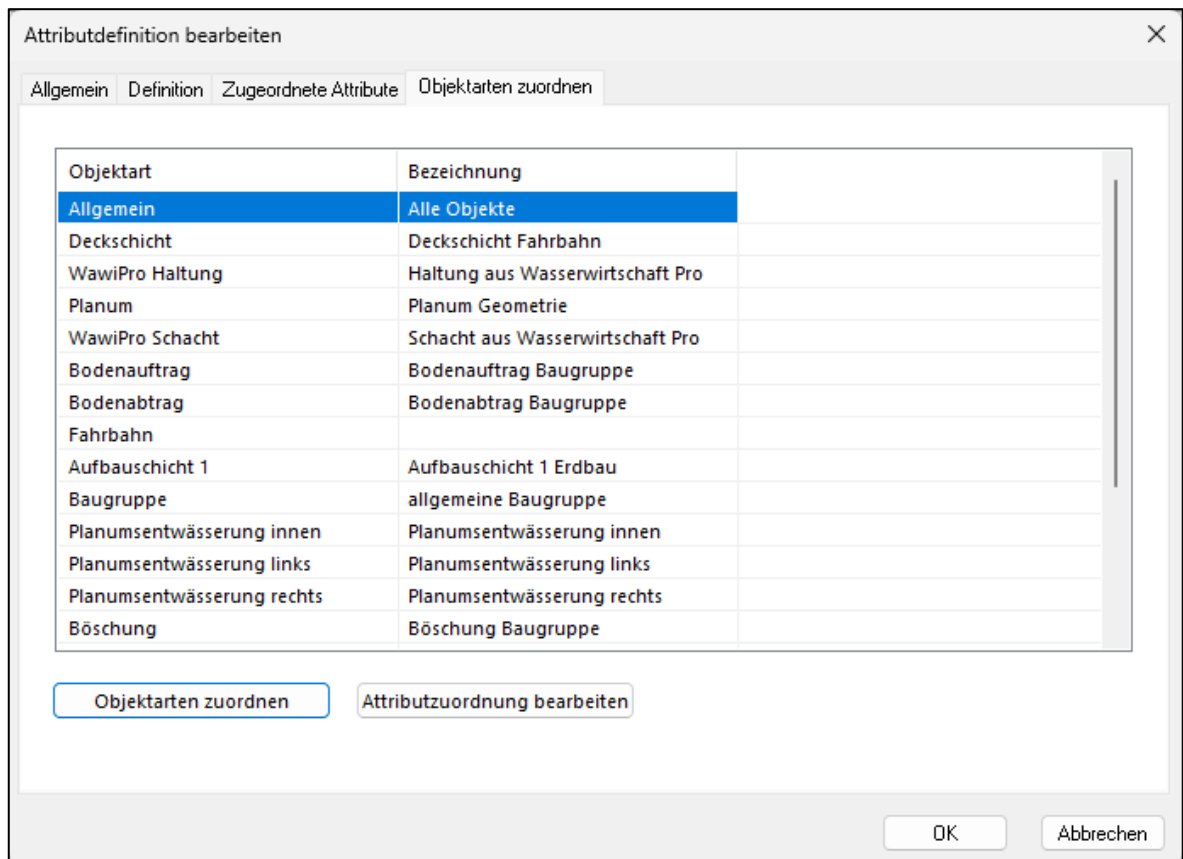


Bild 29: Ausgewählte Objektarten für das Pset 1 (Quelle: eigene Abbildung)

Die mit einem blauen Haken markierten Objektarten erhalten im finalen Schritt spezifische Informationen. Um diese anzugeben, ist es erforderlich, dass der Benutzer das Modellelement auswählt und auf „Attributzuordnung bearbeiten“ klickt (siehe Bild 29). Daraufhin öffnet sich ein Fenster (siehe Bild 30), in dem der Datentyp mit den zugeordneten Merkmalen angezeigt wird. In einem nächsten Schritt werden die vorgegebenen Werte aus der Mindestattributliste an die Attribute übertragen. Die hier definierte Vorbelegung ist der Wertvorgabe aus dem Datentyp immer übergeordnet.

Attributzuordnung bearbeiten

Allgemein | Attributzuordnung

Objektart:

Attributdefinition:

Vorbelegung

Name	Wert	Einheit	Parameter
☒ PSET_Klassifizierung_Autobahn_GmbH			Kopieren, Auto, Protokoll, Export
☐ Objektgruppe	Fahrbahnschicht		Kopieren, Auto, Protokoll, Export
☐ Objektklasse	Aufbauschicht		Kopieren, Auto, Protokoll, Export
☐ Objekttyp	Deckschicht		Kopieren, Auto, Protokoll, Export

Abbildung 30: Objektartspezifische Vorbelegung am Beispiel der Deckschicht (Quelle: eigene Abbildung)

Nachdem die Objektarten ausgewählt wurden, erfolgt der letzte und entscheidende Schritt. Unter „Attributzuordnung bearbeiten“ können Werte für die Vorbelegung vergeben werden. Die in diesem Feld eingegebenen Werte finden Anwendungen für sämtliche Objektarten, für die der card_1 interne Code gilt. In der Konsequenz entfällt für den Anwender die manuelle Attribuierung vollständig, was mit einer signifikanten Reduktion des Zeit- und Arbeitsaufwands einhergeht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Methode den Attribuierungsprozess erleichtert. Die Einträge „Datentyp und Attributdefinitionen“ können exportiert werden, um auch in anderen Projekten der Autobahn GmbH genutzt zu werden. Trotz der automatischen Verknüpfung bleiben zahlreiche Bauteile ohne Vorbelegung, da die interne Objektstruktur in card_1 nicht mit der der Autobahn GmbH übereinstimmt. Es konnte festgestellt werden, dass sich diese Methode, die sich in der bisherigen Erprobungsphase in der IBV GmbH als effektiv erwiesen hat, zu einem effizienteren Arbeiten beiträgt. In Anlage 7 ist der gesamte Implementierungsprozess vereinfacht als Ablaufdiagramm abgebildet.

4.4 Anwendung

Im Folgenden wird, die in Abschnitt 4.3.2 konfigurierte Arbeitsmethode in der Praxis demonstriert. Zunächst wird im Menü die Fachobjektstruktur geöffnet und mit dem blauen Pfeil das zu attribuierende Modellelement selektiert. Im vorliegenden Fall soll eine Böschung mit der Bezeichnung „Böschung Innen links“ attribuiert werden. Das nachfolgende Bild veranschaulicht die Position des Bauteils innerhalb der Fachobjektstruktur (siehe Bild 31).

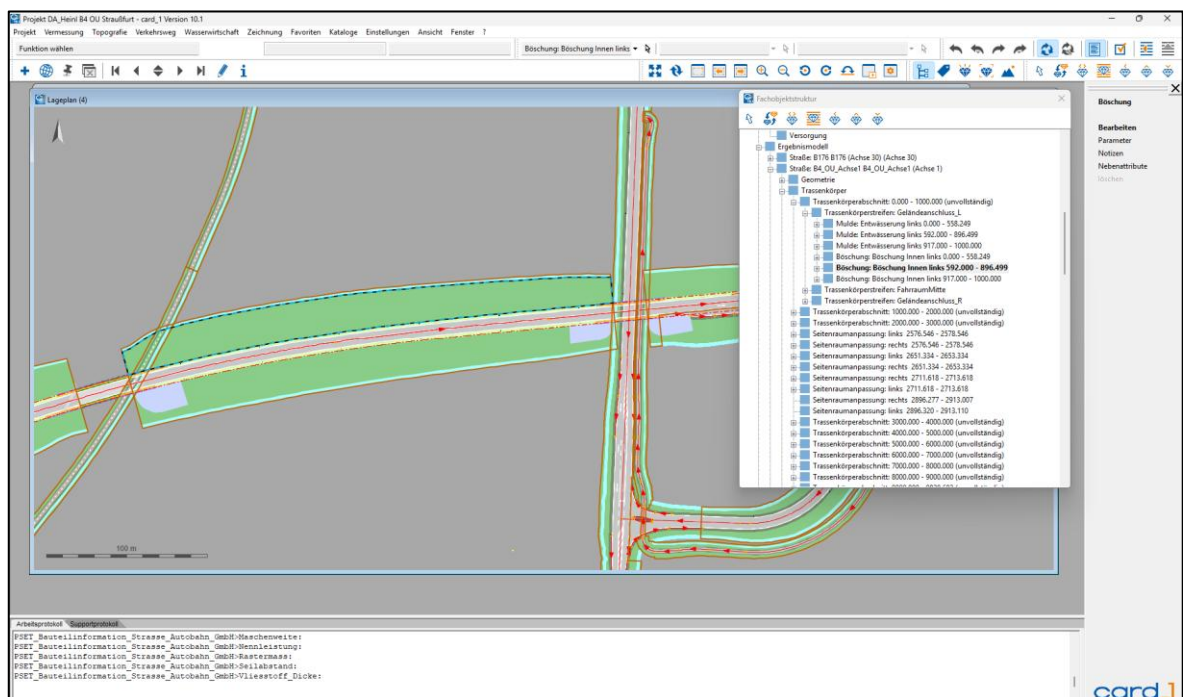


Bild 31: Auswahl des Modellelement im Ergebnismodell (Quelle: eigene Abbildung)

Um mit der Attribuierung zu beginnen, muss der Planer in der rechten Menüleiste das Feld Nebenattribute auswählen.

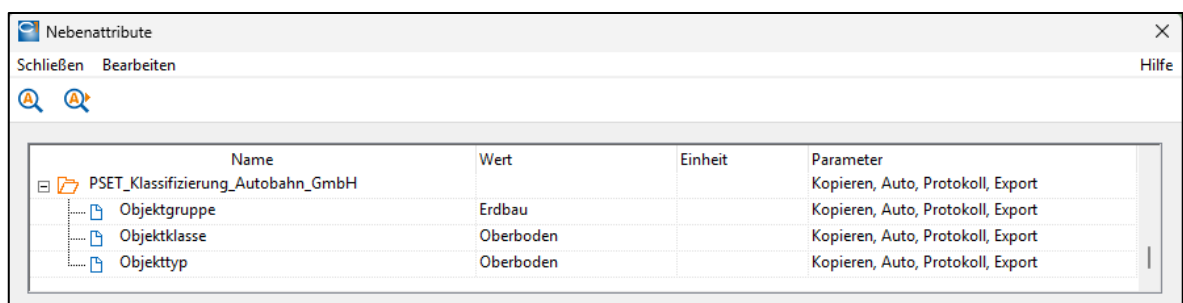
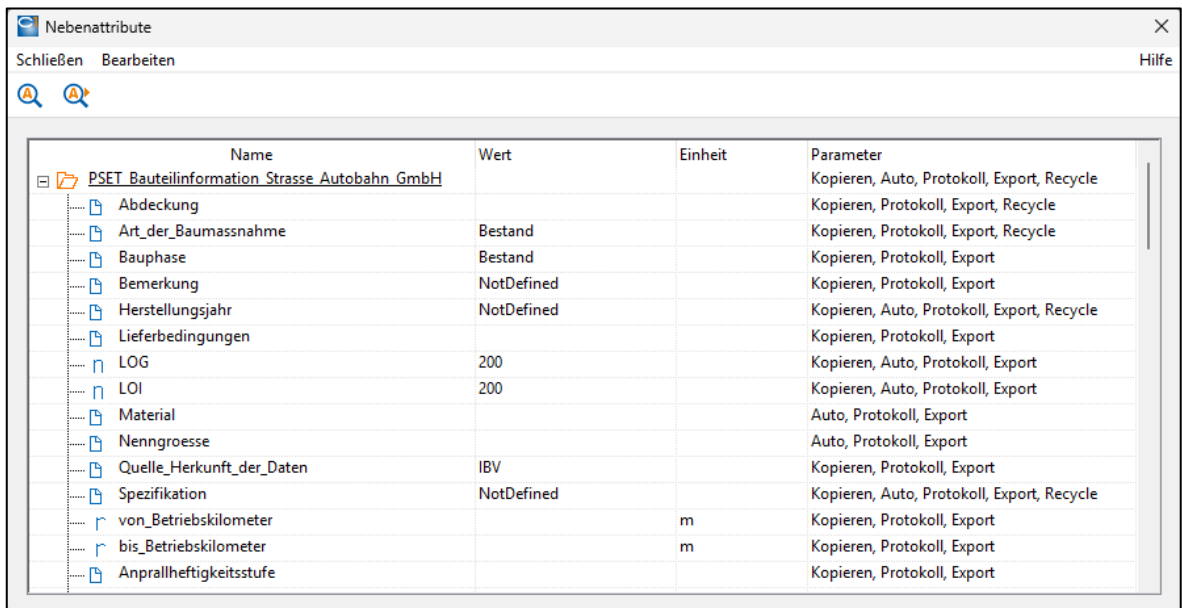


Bild 32: Automatische Attribuierung des Psets Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Nach dem Öffnen des Nebenattributenfensters sind die Attribute des Property Sets 1 Klassifizierung mit Werten ausgestattet (siehe Bild 32). Die Werte resultieren aus der automatischen Zuordnung. Der Planer ist folglich angehalten, die

entsprechenden Elemente mit denjenigen der Mindestattributliste abzugleichen und in der Funktion eines Prüfers zu agieren. In der Konsequenz entfällt für den Anwender die manuelle Attribuierung vollständig, was mit einer signifikanten Reduktion des Zeit- und Arbeitsaufwands einhergeht.

Das nachfolgende Bild 33 veranschaulicht die Attribute des Property Sets 2 „Bauteilinformation_Strasse“. Wie in der Abbildung ersichtlich, sind bei einigen bereits Werte vorgegeben. Diese Vorbelegung ergibt sich aus der Definition des Attributes im Datentyp.



Name	Wert	Einheit	Parameter
PSET Bauteilinformation Strasse Autobahn GmbH			Kopieren, Auto, Protokoll, Export, Recycle
Abdeckung			Kopieren, Protokoll, Export, Recycle
Art_der_Baumassnahme	Bestand		Kopieren, Protokoll, Export, Recycle
Bauphase	Bestand		Kopieren, Protokoll, Export
Bemerkung	NotDefined		Kopieren, Protokoll, Export
Herstellungsjahr	NotDefined		Kopieren, Auto, Protokoll, Export, Recycle
Lieferbedingungen			Kopieren, Protokoll, Export
LOG	200		Kopieren, Auto, Protokoll, Export
LOI	200		Kopieren, Auto, Protokoll, Export
Material			Auto, Protokoll, Export
Nenngroesse			Auto, Protokoll, Export
Quelle_Herkunft_der_Daten	IBV		Kopieren, Protokoll, Export
Spezifikation	NotDefined		Kopieren, Auto, Protokoll, Export, Recycle
von_Betriebskilometer		m	Kopieren, Protokoll, Export
bis_Betriebskilometer		m	Kopieren, Protokoll, Export
Anprallheftigkeitsstufe			Kopieren, Protokoll, Export

Bild 33: Vorbelegung der Attribute (Quelle: eigene Abbildung)

Sollten die vorbelegten Werte nicht korrekt sein, besteht die Möglichkeit, den fehlerhaften Wert mit einem Rechtsklick zu bearbeiten. Subsektiv wird ein Fenster mit den zulässigen Werten geöffnet (Bild 34). Hier kann der Planer, zwischen den ihm zur Wahl stehenden Werten wählen. Sollte der gewünschte Wert nicht in der Auflistung enthalten sein, ist er manuell in das Feld einzutragen und in die Wertvorgabe in den Attributdefinitionen einzupflegen.

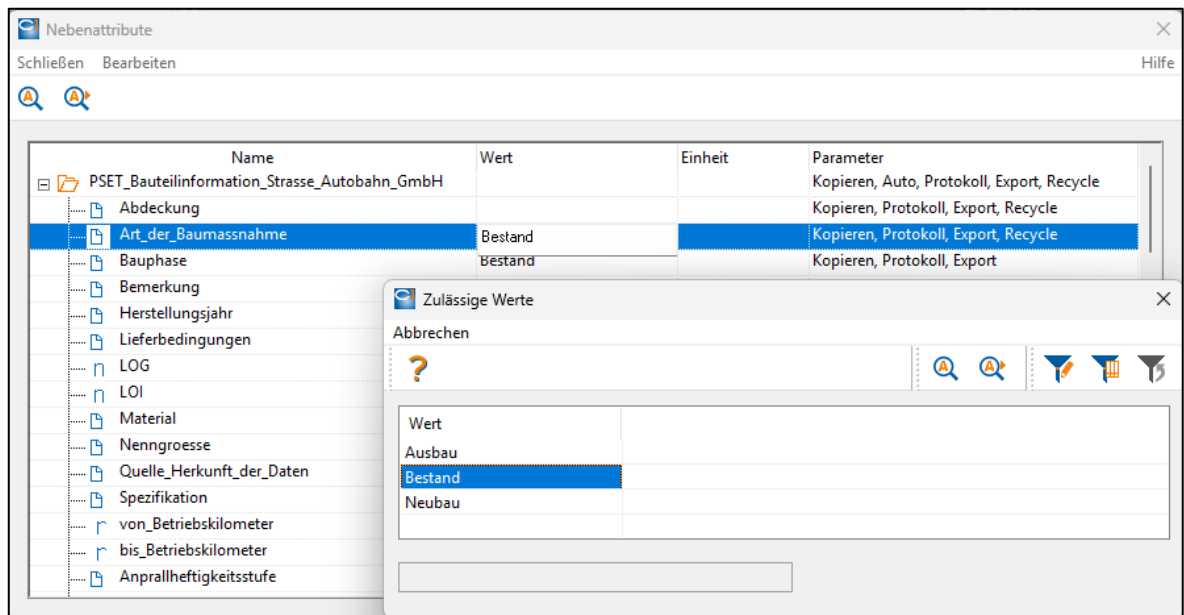


Bild 34: Auswahl von zulässigen Werten (Quelle: eigene Abbildung)

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Methode den Attribuerungsprozess erleichtert. Im Vergleich zur bisherigen Methode verringert sich der Zeitaufwand pro Ergebnismodell erheblich. Die Einträge „Datentyp“ und „Attributdefinitionen“ können exportiert werden, um eine erneute Nutzung in anderen Projekten der Autobahn GmbH zu ermöglichen. Trotz der automatischen Verknüpfung bleiben zahlreiche Bauteile ohne Vorbelegung, da die interne Objektstruktur von card_1 nicht mit der der Autobahn GmbH übereinstimmt. Es konnte festgestellt werden, dass sich die Methode in der bisherigen Erprobungsphase bei der IBV GmbH als effektiv erwiesen hat und folglich zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität führt.

5 Regelbasierte Modellprüfung

5.1 Ausgangssituation

Im Rahmen des BIM-Planungsverfahrens nimmt die Modellprüfung eine zentrale Stellung ein. Im Rahmen dessen erfolgt eine Überprüfung der in der Fachsoftware generierten und attribuierten Modelle anhand diverser Kriterien. Es bildet die Grundlage für alle nachfolgenden Koordinations-, Analyse- und Auswertungsprozesse. Hierzu zählen unter anderem Kollisionsprüfungen, die modellbasierte Terminplanung (4D-Planung) sowie die Mengen- und Kostenermittlung (5D-Planung).

5.1.1 Manuelle Modellprüfung

Die gegenwärtig praktizierte Vorgehensweise zeichnet sich durch die selektive Auswahl der Modellelemente aus. Der Anwender hat die Möglichkeit, in der Titelleiste über Daten zu den Datenblättern des Objektes zu navigieren. Alternativ kann auch der Shortcut „D“ verwendet werden.

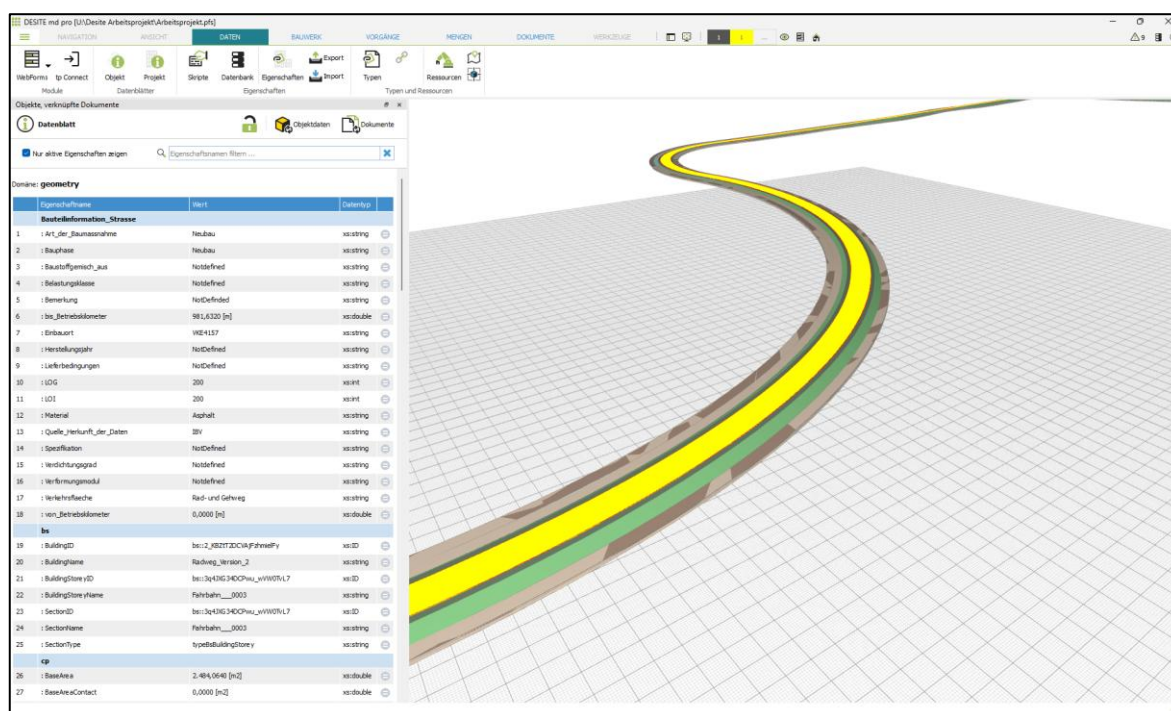


Bild 35: Modellelement mit Datenblatt (Quelle: eigene Abbildung)

Auf der linken Seite öffnet sich daraufhin ein neues Fenster mit der Bezeichnung „Datenblatt“ (Bild 35). Hier listet DESITE alle Attribute in einer Tabelle auf, unterteilt in Psets aus der IFC-Datenstruktur oder vorgegebenen aus Mindestattributlisten. Um eine Abgrenzung zu den übrigen Merkmalen zu erwirken, sind die Psets in hellblau hervorgehoben.

Die Aufgabe des Modellprüfers besteht nun darin, die vorgegebenen Attribute mit den erforderlichen abzugleichen. Als optimale Vorgehensweise hat sich die Einblendung der Mindestattributliste auf einem separaten Bildschirm etabliert. Dieser Prozess ist zeitaufwendig, fehleranfällig und somit als ineffizient zu bewerten. Im Falle nicht den Anforderungen entsprechender Modellelemente ist die Erstellung manueller Vermerke erforderlich. Gemäß den vorliegenden Informationen erläutert der Koordinator die Fehler der Modelle in einem sogenannten Prüfungsbericht und leitet sie an den Fachplaner oder an Externe (z. B. Ingenieurbüros für konstruktiven Ingenieurbau) zum Zweck der Nachbearbeitung zurück. Dieser Prozess wird so lange iteriert, bis das Koordinationsmodell vollständig ist. Der Informationsaustausch des Koordinationsmodells im CDE erfolgt erst zu einem späteren Zeitpunkt.

Bei Berücksichtigung immer größer werdender Mindestattributlisten, spezifischeren Anforderungen seitens der Auftraggeber und wachsender BIM-Aufträge in der IBV GmbH stößt diese jedoch an ihre Grenzen.

5.1.2 Ziel

Die in Abschnitt 5.1.1 identifizierten Probleme können nur durch eine eindeutige Zieldefinition gelöst werden. In diesem Abschnitt erfolgt eine erneute Behandlung der als kritisch betrachteten Stellen sowie die Vorstellung von Verbesserungen.

Gemäß der Prämisse der Benutzerfreundlichkeit und leichten Handhabung, auch ohne fundierte Vorkenntnisse in Bezug auf das Programm DESITE, sollte der Modellprüflauf konzipiert werden. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist eine Zunahme der Attribute, die von den Auftraggebern in die Mindestattributliste eingetragen werden, zu verzeichnen. Aus diesem Grund sollte die neue Vorgehensweise leicht erweiterbar sein. Die vorliegende Autorensoftware verfügt über eine Auswahl an verschiedenen Modellen, die einer Prüfung unterzogen werden können. Es besteht die Möglichkeit, Skripte zu formulieren, die auf Java basieren. Zu diesem Zweck können die Attribute mittels eines sogenannten "Mapping" in einer Matrix zusammengefasst werden. Die Herausforderung besteht darin, dass neue Merkmale aufwendig eingepflegt werden müssen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass eine Auswertung der skriptbasierten Attributprüfung nicht möglich ist, da diese sich auf ein einzelnes Modellelement und nicht auf sämtliche Modellelemente bezieht.

Eine alternative Methode besteht in der Nutzung der in DESITE implementierten Variante. Hier werden Regeln formuliert, die eine sukzessive Überprüfung jedes

Modellelement ermöglichen. Es gilt im Gegensatz zu der skriptbasierten Modellprüfung über das gesamte Modell. Die Ergebnisse können als Prüfberichte ausgegeben und für weitere Zwecke verwendet werden. Aufgrund der signifikanten Vorteile dieser Methode wird diese in den folgenden Abschnitten detaillierter erörtert.

5.2 Entwicklung der Prüfredeln

Bei der Entwicklung der Prüfredeln ist es von essenzieller Bedeutung, zu berücksichtigen, dass eine Formulierung der Prüfredeln unabhängig vom Auftraggeber nicht möglich ist. Die exakte Definition der Prüfredeln ist dabei abhängig von den AIA sowie der im BAP vereinbarten Mindestattributliste.

5.2.1 Ableitung der Prüfläufe

Im Rahmen der Entwicklung von Prüfverfahren stellt sich die Frage, auf welche Art und Weise Attribute logisch und strukturiert geprüft werden können.

Eine Prüfung aller Attribute in einem umfassenden Durchlauf ohne thematische Differenzierung kann zu informationsstrukturellen sowie prüftechnischen Problemen führen. Eine fehlende thematische Bündelung der Attribute führt zu einer intransparenten Datenstruktur und einer Vermischung unterschiedlicher Informationsarten.

Die in der Mindestattributliste der AG festgelegten Property Sets bilden die Grundlage für regelbasierte Prüfläufe. Dies ermöglicht die gezielte Anwendung von Prüfmechanismen auf spezifische Informationsbereiche und somit eine präzisere Zuordnung identifizierter Regelverstöße. Darüber hinaus wird eine Reduzierung der Prüfkomplexität vorgenommen. Dies erhöht die Transparenz der Prüflogik, womit im Hinblick auf die BIM-Arbeitsweise, eine effizientere Bearbeitung gewährleistet wird. Die Auswertung des Koordinationsmodells ermöglicht die Identifizierung fehlerhafter oder unvollständiger Attribuierung, sodass eine Rücksprache mit dem entsprechenden Fachplaner zurückgegeben erfolgen kann. Ohne diese Nachvollziehbarkeit müssten die Regelverstöße erst exakt identifiziert werden und dem jeweiligen Modell zugeordnet werden, was einen signifikanten Mehraufwand bedeuten würde. Des Weiteren findet in diesem Prüfmechanismus die Veränderung der Attribute während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks Berücksichtigung. Da in diversen Bau- und Betriebsphasen Modellelementen spezifische Property Sets entfernt oder hinzugefügt werden. Dabei ist es nicht erforderlich, bestehende Prüfläufe zu

verändern. Es ist lediglich erforderlich, neue Prüfläufe hinzuzufügen und ungültige zu deaktivieren.

Die Property-Set-basierte Differenzierung erlaubt demnach eine methodisch saubere, strukturierte sowie reproduzierbare Entwicklung von Prüfläufen. Diese erfolgt nicht isoliert, sondern leitet sich direkt aus der Modellstruktur ab, was die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit wesentlich erhöht.

5.2.2 Implementierung in DESITE

Für die Implementierung wird, wie auch schon in Abschnitt 4, die Mindestattributliste der Autobahn GmbH als Ausgangspunkt verwendet.

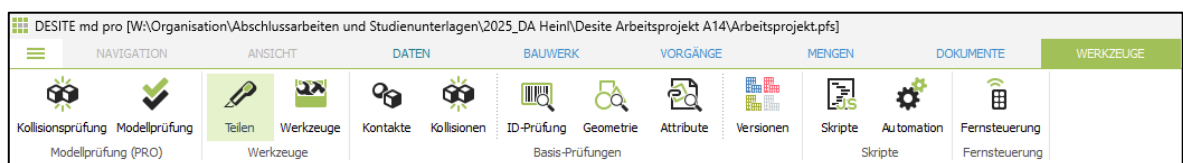


Bild 36: Titelleiste der Modellprüfung (Quelle: eigene Abbildung)

Die Koordination der Modelle erfolgt in der in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Auto-renssoftware DESITE. Um das Modellprüfungs-menü zu öffnen, navigiert der Anwender in der Titelleiste (Bild 36) über Werkzeuge auf Modellprüfung.

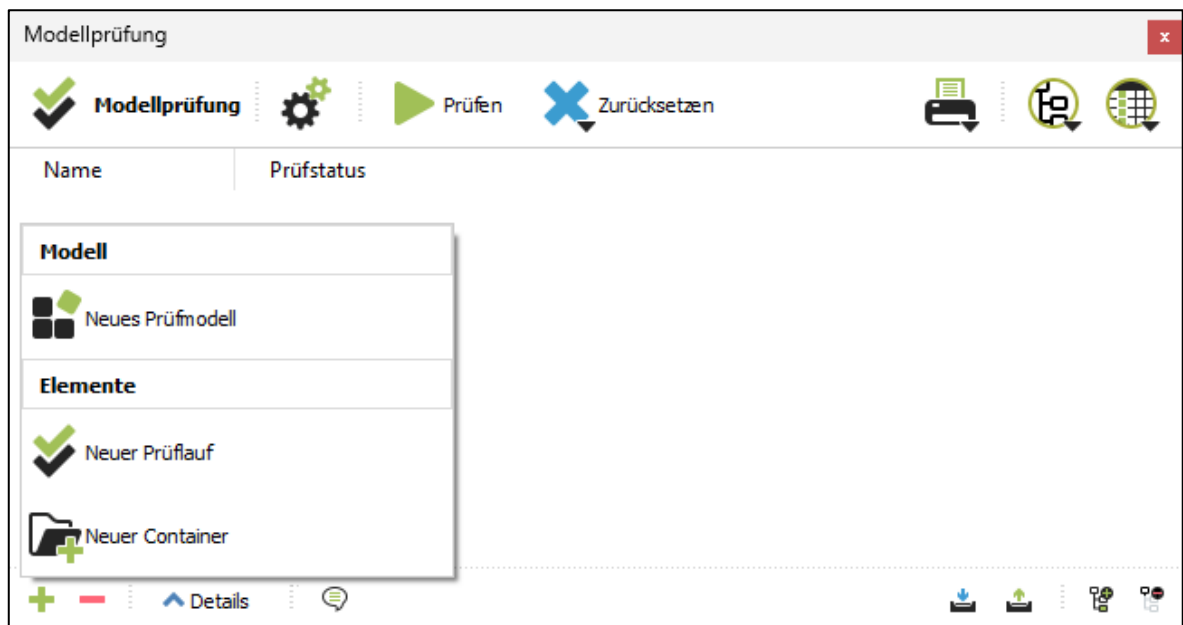


Bild 37: Modellprüfung-Menü (Quelle: eigene Abbildung)

Im Modellprüfung-Menü (Bild 37) besteht für den Benutzer die Möglichkeit, neue Prüfmodelle zu generieren sowie diese auch zu importieren und zu exportieren. Es können neue Spalten ergänzt werden (Tabellen-Symbol, oben rechts), einzelne

Elemente selektiert bzw. isoliert (Struktur-Symbol, mittig rechts) und mittels des Druck-Symbols Prüfberichte ausgegeben werden.

Die Grundlage für alle nächsten Schritte bildet das Implementieren eines neuen Prüfmodells. Zur Gewährleistung einer besseren Übersichtlichkeit besteht die Möglichkeit, Container anzulegen. Ein Container kann als eine Art Ordner betrachtet werden, der attribuiert werden kann und diese Merkmale auf die Modellelemente vererbt. Gemäß den Vorgaben erfolgt die Benennung nach den Psets aus der Mindestattributliste sowie der im Container angelegten Prüflauf.

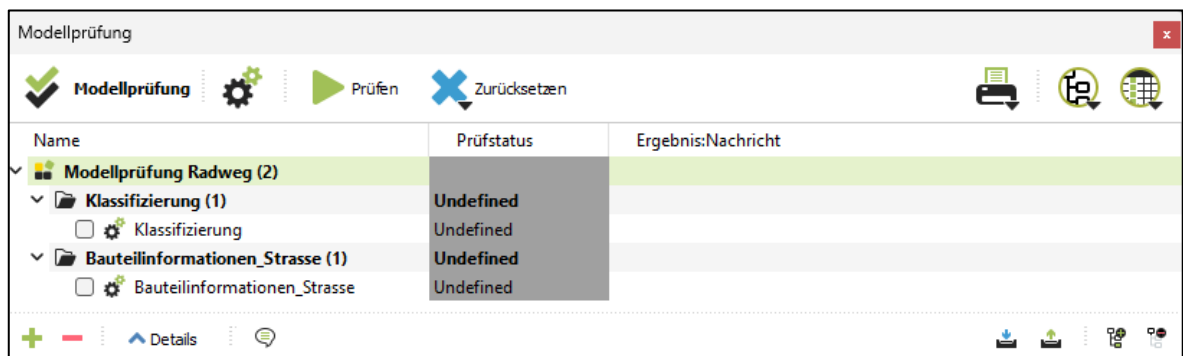


Bild 38: Prüfläufe Klassifizierung und Bauteilinformationen_Strasse (Quelle: eigene Abbildung)

Die „Autobahn GmbH“ unterscheidet zwischen zwei Psets: der „Klassifizierung“ und den „Bauteilinformation_Strasse“.

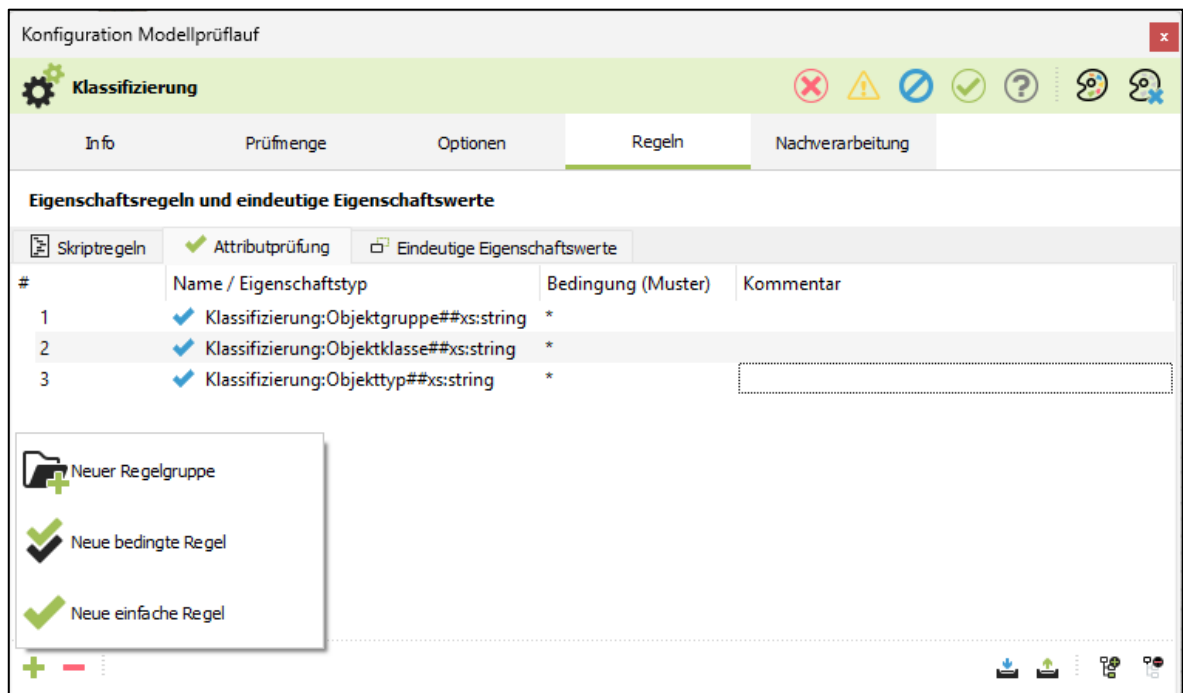


Bild 39: Modellprüflaufkonfiguration Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Im Rahmen des Prüflaufs „Klassifizierung“ erfolgt die Überprüfung der Attribute Objektgruppe, Objektklasse und Objekttyp. Die Navigation in das Konfigurationsmenü erfolgt durch Betätigung des Zahnrad-Symbol. Dort können Regeln und Regelgruppen erstellt werden. DESITE differenziert zwischen einfachen und bedingten Regeln, wobei stets eine übergeordnete Bedingung zu konstatieren ist. Eine bedingte Regel wird erst dann überprüft, wenn diese erfüllt ist. Es besteht zudem die Möglichkeit mehrere untereinander zu formulieren.

In Bild 39 wird die Modellprüflaufkonfiguration für das Pset Klassifikation dargestellt. Die zu prüfenden Attribute wurden in Form von einfachen Regeln angelegt. Der Name des Eigenschaftstyps setzt sich immer aus dem Pset (hier Klassifizierung:), dem Attribut (bspw. Objektgruppe) und dem Datentyp (`##xs:string`) zusammen. Diese Logik lässt sich aus den Bezeichnungen des Attributes in der Autorensoftware DESITE ableiten. Sollte man lediglich den Namen des Attributes (bspw. Objektgruppe) schreiben, würde DESITE das zu prüfende Merkmal nicht finden.

Der spezifische Datentyp repräsentiert den zu erwartenden Wert und definiert die Bedingung (Muster). In diesem Bereich definiert der Anwender die zulässigen Werte. Die vorliegenden Werte können einerseits direkte benutzerspezifische Werte sein, andererseits verarbeitet DESITE Regex-Ausdrücke. Regex-Ausdrücke werden definiert als Sequenzen von Zeichen und dienen der Beschreibung von Muster. Die Prüfung der Richtigkeit konkreter Werte ist durch diese Methode möglich. Für ein Attribut, das den LOG beschreibt, können beispielsweise nur die Werte 100, 200, 300, 400 und 500 akzeptiert werden.

In den in Bild 39 und 40 dargestellten Regeln ist die Bedingung „*“ zu berücksichtigen, die eine erfolgreiche Prüfung bei Vorhandensein des Attributes signifiziert, d.h. mindestens einem vorhandenen Zeichen.

In Bild 40 wird die Modellprüfung für das Pset „Bauteilinformation_Strasse“ dargestellt. Es demonstriert die Korrelation mit der Pset „Klassifizierung“. Die Attribute aus der „Bauteilinformation_Strasse“ werden erst geprüft, wenn die Attribute der Klassifizierung den in den Bedingungen definierten exakten Wert aufweisen. Die vorliegende Korrelation kann durch bedingte Regeln abgebildet werden.

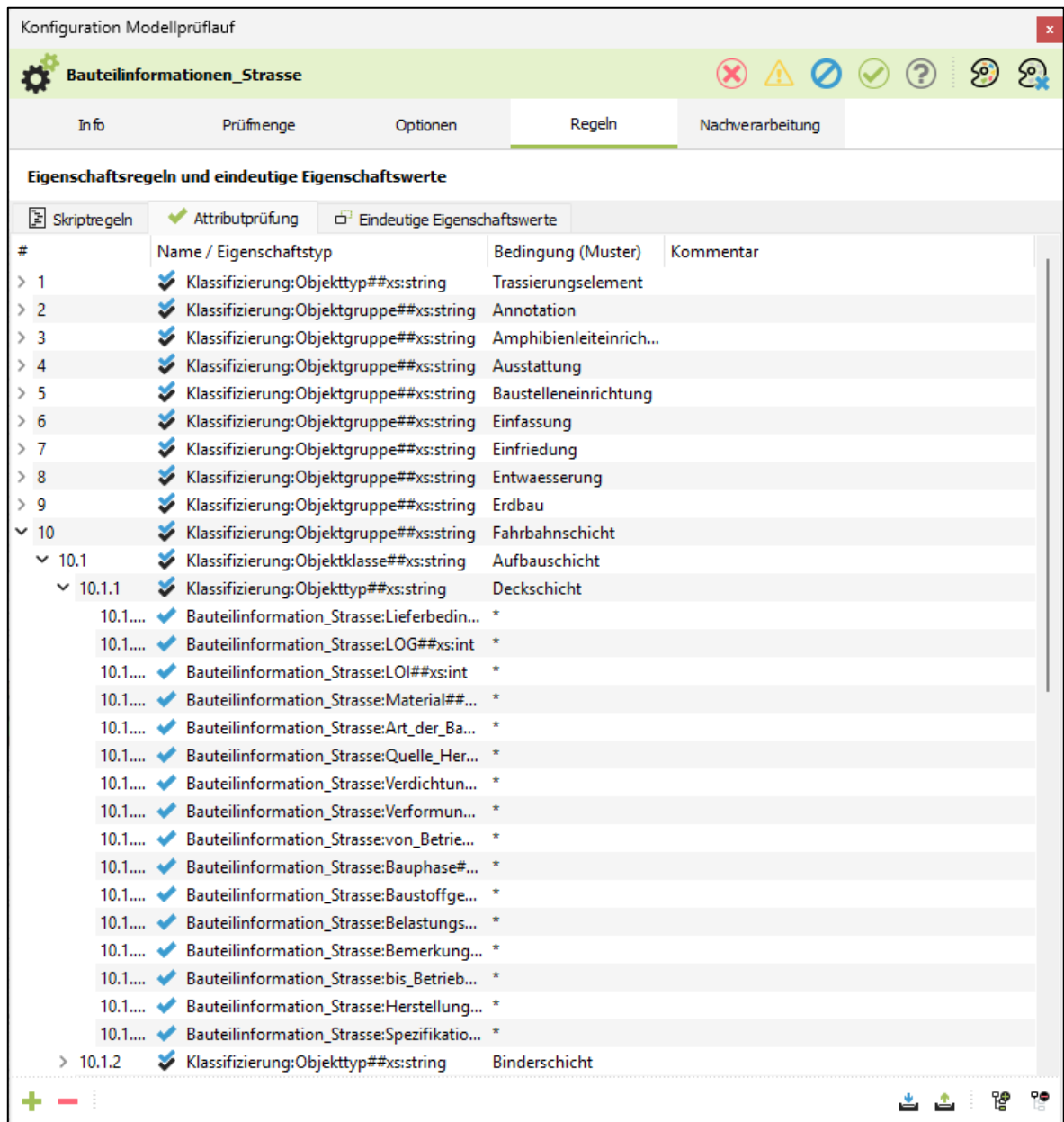


Bild 40: Modellprüflaufkonfiguration Bauteilinformation (Quelle: eigene Abbildung)

5.3 Anwendung von Prüfregele für zwei Modellvarianten

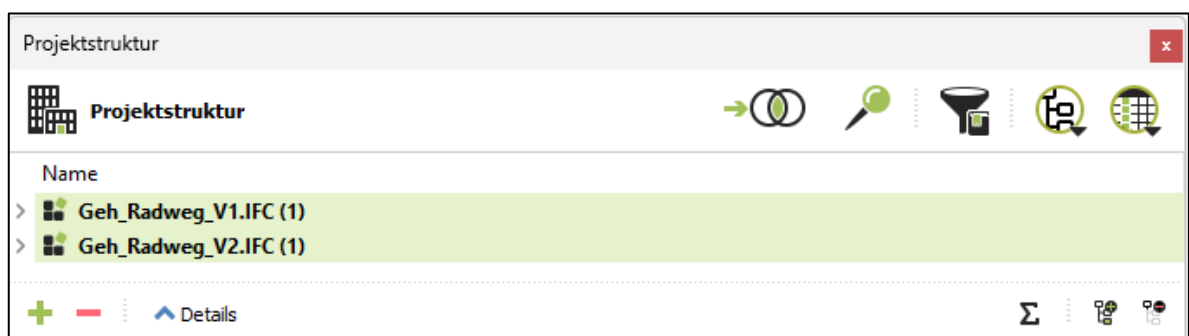


Bild 41: Projektstruktur des Modells (Quelle: eigene Abbildung)

Die Auswertung der Elemente erfordert zunächst den Import der Modelle als IFC-Datei in das Projekt. Dazu können die Dateien mittels Drag and Drop in die Benutzeroberfläche von DESITE geladen werden. Die IFC-Dateien sind in der Projektstruktur aufgelistet (siehe Bild 41).

5.3.1 Modellvariante 1

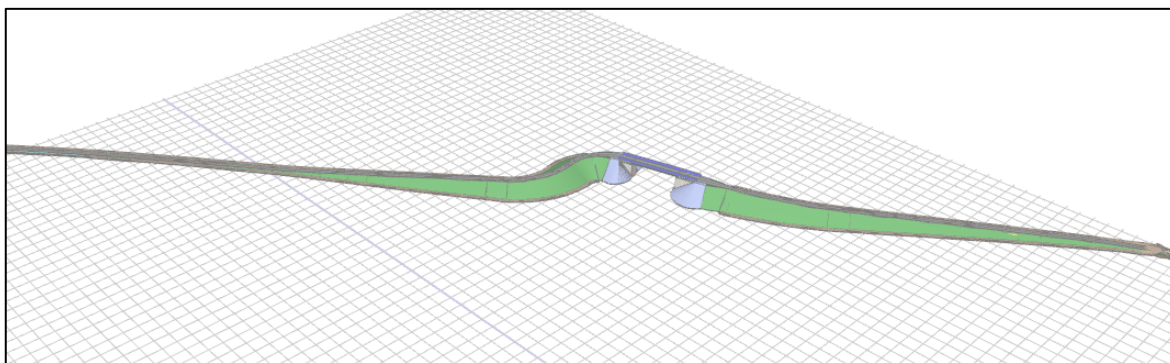


Bild 42: IFC-Modell des Geh- und Radweges Variante 1 (Quelle: eigene Abbildung)

Nun sollen beide Prüfläufe über das Modell des Geh- und Radwegs für Variante 1 laufen. Das Ziel der Prüfläufe besteht in der Identifikation von Fehlern sowie der Erstellung von Prüfberichten.

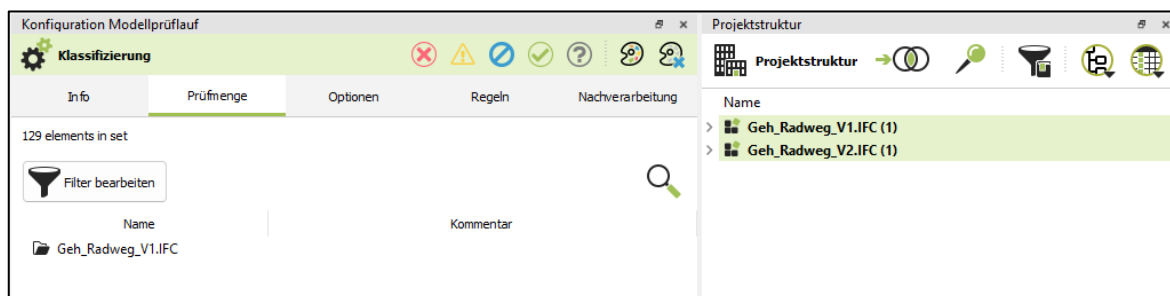
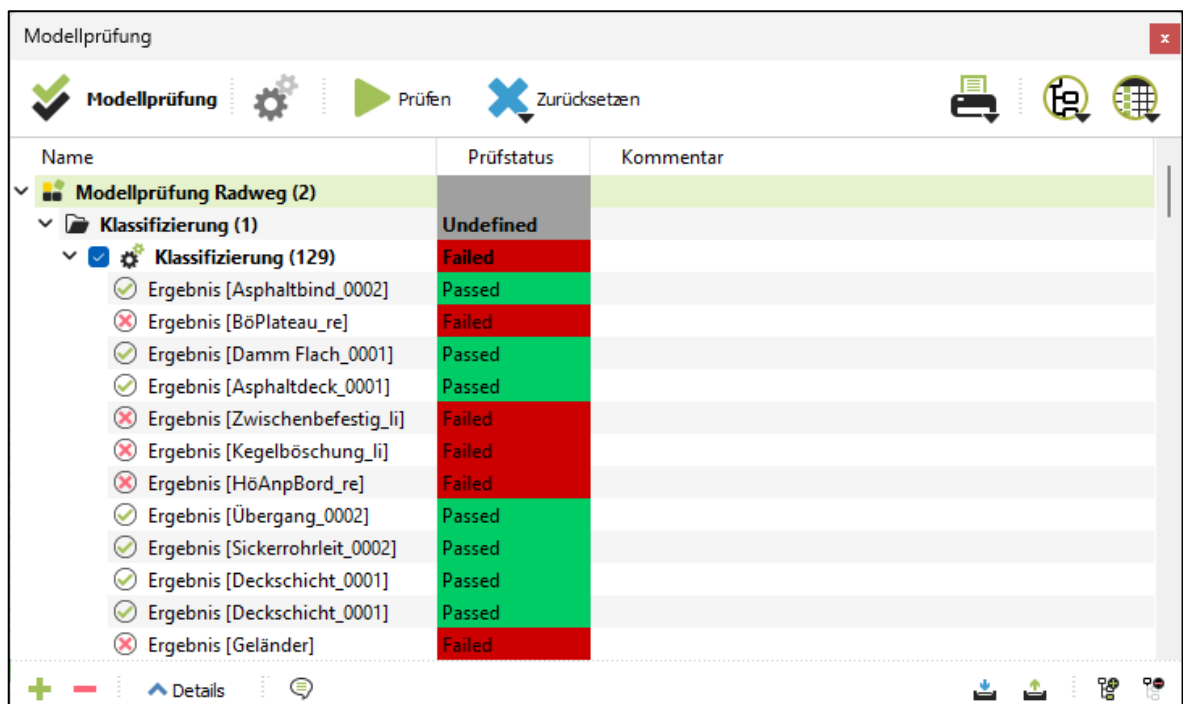


Bild 43: Prüfmenge und Projektstruktur (Quelle: eigene Abbildung)

Gemäß den Anforderungen der Autobahn GmbH ist es bei der Modellprüfung zunächst erforderlich, „Klassifizierung“ ausführen. Nach der Festlegung der Prüfregeln ist die Bestimmung einer Prüfmenge erforderlich. Die entsprechende Funktion ist im Konfigurationsmenü unter dem Punkt „Prüfmenge“ zu finden. Das zu prüfende Modell (hier „Geh_Radweg_V1.IFC“) wird per Drag-and-Drop aus der Projektstruktur (siehe Bild 43, rechts) in die Prüfmenge (siehe Bild 43, links) kopiert. Dort werden die IFC-Datei und die Anzahl der zu prüfenden Modellelemente (hier 129) dargestellt. Mithilfe dieser Funktion ist es möglich, gezielt Teilmodelle des Koordinationsmodells zu prüfen. Andernfalls würden sich die Prüfläufe auf alle Modelle beziehen. Um einen Modellprüflauf auszuführen, muss der Anwender diesen auswählen (blauen Haken setzen) und auf den grünen Pfeil „Prüfen“ klicken.

Die Ergebnisse werden untereinander im Prüflauf angezeigt. Jede Zeile enthält ein Element, das in eckigen Klammern benannt wird. Insgesamt wurden 129 Elemente geprüft, was exakt der Menge der Elemente im Modell entspricht (siehe Prüfmenge). Die Anzahl der übereinstimmenden Elemente ist wichtig für die Beurteilung der Qualität der Ergebnisse, da trotz der richtigen Auswahl des Fachmodells bei der Zuordnung von Elementen im Modellprüflauf Fehler entstehen können. In einem solchen Fall ist eine manuelle Nacharbeitung erforderlich.



Name	Prüfstatus	Kommentar
Modellprüfung Radweg (2)		
Klassifizierung (1)	Undefined	
Klassifizierung (129)	Failed	
Ergebnis [Asphaltbind_0002]	Passed	
Ergebnis [BoPlateau_re]	Failed	
Ergebnis [Damm Flach_0001]	Passed	
Ergebnis [Asphaltdeck_0001]	Passed	
Ergebnis [Zwischenbefestig_li]	Failed	
Ergebnis [Kegelböschung_li]	Failed	
Ergebnis [HöAnpBord_re]	Failed	
Ergebnis [Übergang_0002]	Passed	
Ergebnis [Sickerrohrleit_0002]	Passed	
Ergebnis [Deckschicht_0001]	Passed	
Ergebnis [Deckschicht_0001]	Passed	
Ergebnis [Geländer]	Failed	

Bild 44: Ergebnisse des Prüflaufs Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Die Ergebnisse des Prüflaufs „Klassifizierung“ werden in die Spalte „Prüfstatus“ geschrieben. Wie in Bild 44 ersichtlich, ist der Prüflauf fehlgeschlagen, da mehrere Elemente den Status „Failed“ aufweisen. Das bedeutet, dass die Attribute dieser Elemente unvollständig oder nicht vorhanden sind. Ein fehlgeschlagener Prüflauf liegt bereits dann vor, wenn ein Element ihn nicht besteht. Die Ergebnisse sind farblich hervorgehoben: „Passed“ in grün und „Failed“ in rot. Neben diesen beiden eindeutigen Ergebnissen gibt es auch den Status „Undefined“, der grau dargestellt wird. Dieser Wert wird als Standardwert für übergeordnete Container, noch nicht ausgeführte Prüfläufe oder beim Zurücksetzen von Ergebnissen verwendet.

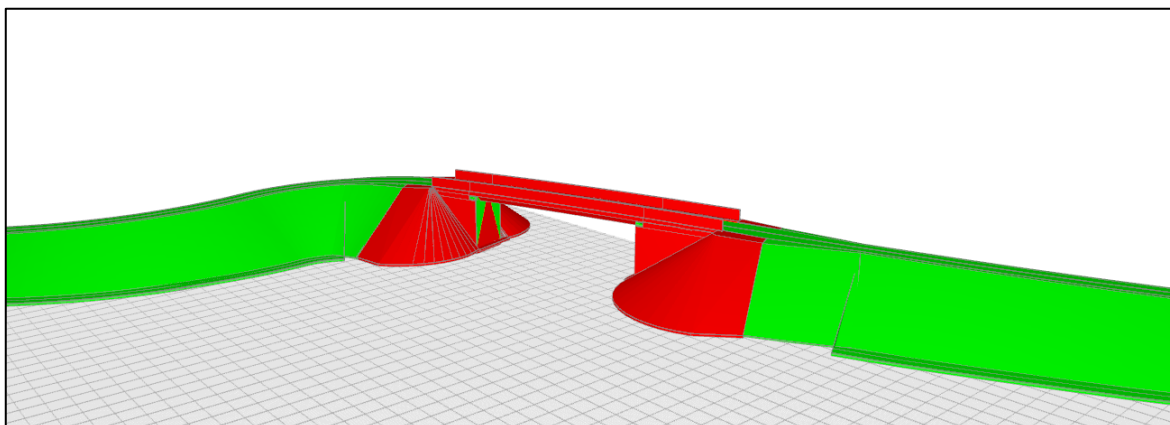


Bild 45: Prüfmodell nach dem Prüflauf Klassifizierung (Quelle: eigene Abbildung)

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das Prüfmodell grafisch einzublenden (siehe Bild 45). Diese Funktion erweist sich insbesondere bei der Nachbearbeitung als hilfreich, da die Namen der Modellelemente nicht immer deren Position bestimmen. Beim Prüfmodell der Variante 1 wird deutlich, dass die unvollständigen Elemente ausschließlich die des Brückenbauwerks betreffen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Mindestattributliste der Autobahn GmbH keine Angaben zu Attributen von IBW enthält. Diese sollten im Laufe der Planung mit dem AG im AIA oder BAP abgestimmt werden.

Modellprüfung		
Modellprüfung Prüfen Zurücksetzen		
Name	Prüfstatus	Kommentar
▼ Modellprüfung Radweg (2)		
▼ Klassifizierung (1)	Undefined	
▼ Klassifizierung (2)	Failed	
> Passed (88)	Undefined	
> Failed (41)	Undefined	
▼ Bauteilinformationen_Strasse (1)	Undefined	
☐ Bauteilinformationen_Strasse	Undefined	

Bild 46: Ergebnisse sortiert nach Prüfstatus (Quelle: eigene Abbildung)

Um eine übersichtliche Auswertung auch bei einer hohen Anzahl an Modellelementen zu gewährleisten, ermöglicht DESITE, die Ergebnisse nach ihrem Prüfstatus zu gruppieren (siehe Bild 46). Für jeden Status wird demnach ein neuer Container mit dem entsprechenden Namen erstellt. In Hinblick auf die Ausgabe von Prüfberichten ist diese Unterscheidung unabdingbar.

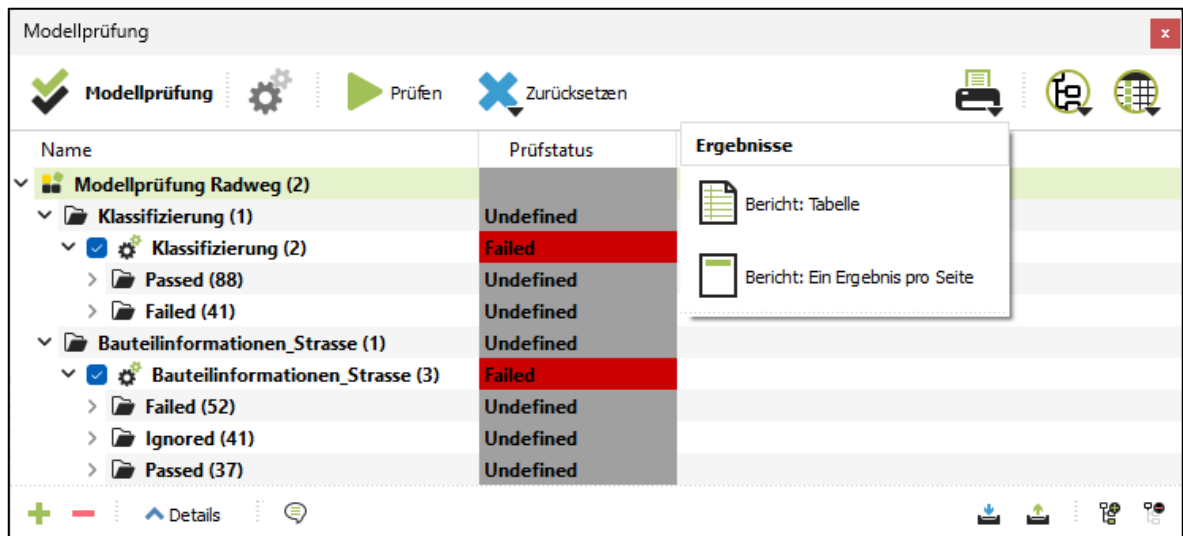


Bild 47: Prüfberichte ausgeben (Quelle: eigene Abbildung)

Im BIM-Kontext bezeichnet der Begriff „Prüfbericht“ einen Nachweis über die Vollständigkeit eines Modells. Es handelt sich um eine vom AG festgelegte Checkliste zum Qualitätsmanagement. Im Falle der Übergabe eines unvollständigen Modells an den Planer empfiehlt es sich, die fehlerhaften Elemente in einem separaten Dokument auszugeben. Damit muss nicht jedes Element überprüft werden, sondern lediglich die unzureichenden. Um die Prüfberichte auszugeben, muss der Bearbeiter in DESITE die Ergebnisse mit dem Status „Failed“ auswählen. Bei einer Gruppierung wie in Bild 47 lässt sich das durch die Auswahl des Containers realisieren. Durch Klicken auf das Druckersymbol bietet die Software die Möglichkeit, ein oder mehrere Elemente pro Seite auszudrucken. Der Bearbeiter kann entscheiden, welche dieser Optionen er nutzt. Für den hier untersuchten Anwendungsfall bietet es sich im Hinblick auf die Anzahl der fehlerhaften Elemente an, mehrere pro Seite auszugeben.

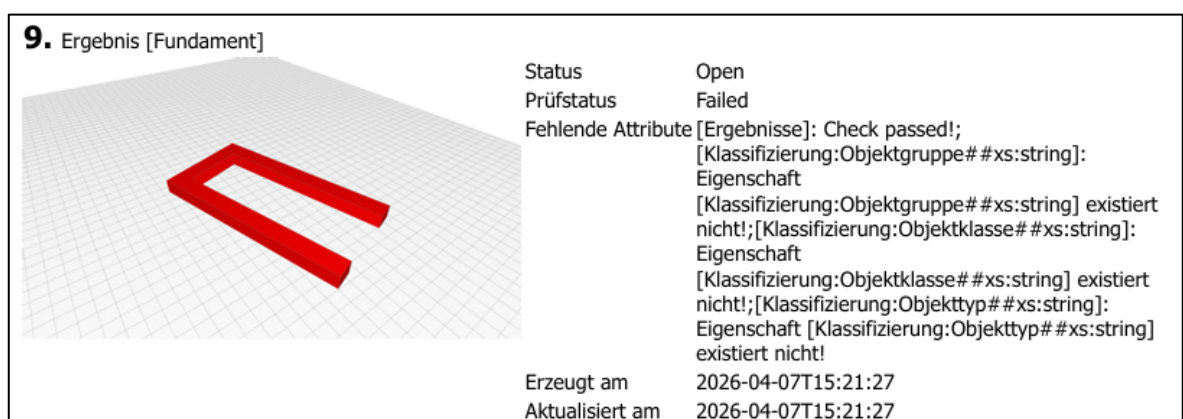
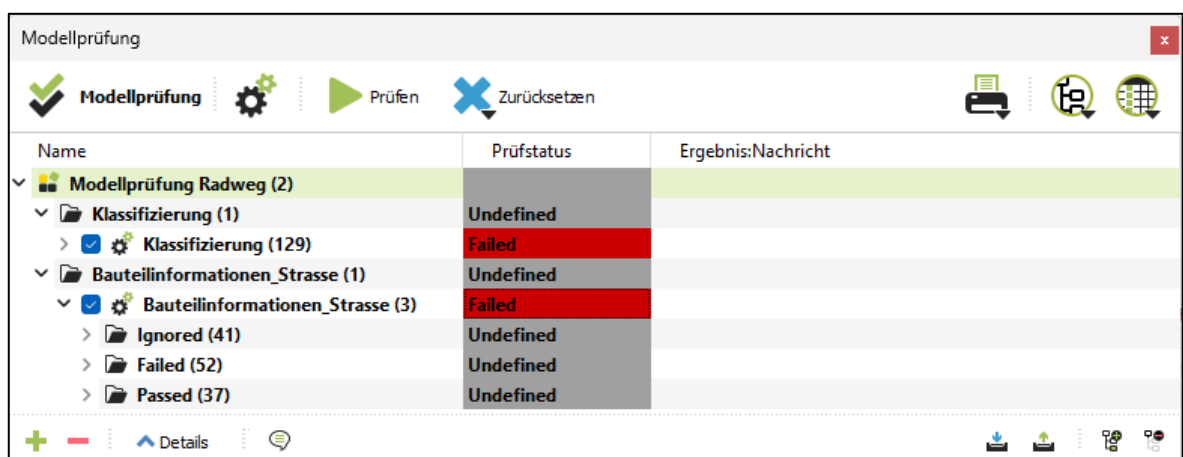


Bild 48: Aufbau eines Prüfberichts (Quelle: eigene Abbildung)

In Bild 48 wird ein Auszug aus einem Bericht dargestellt, in dem einem Fundament unvollständig Attribute zugewiesen wurden. Der Bericht enthält Informationen über den Prüfstatus, die fehlenden Attribute sowie das Datum der Generierung und der letzten Aktualisierung des Prüflaufs. Der mit Abstand wichtigste Inhalt des Prüfberichts ist die Aufzählung der fehlenden Attribute. Die Syntax der Ausgabe orientiert sich an der definierten Regel. Das Attribut wird vollständig mit dem Pset und dem Datentyp ausgeschrieben. Danach folgt die festgelegte Bedingung, die negiert wird. Im Beispiel aus Bild 48 sollte überprüft werden, ob die Attribute (Objektgruppe, -klasse oder -typ) existieren, darum wird es in diesem Anwendungsfall verneint. Nachdem der erste Prüflauf abgearbeitet wurde, erfolgt als nächstes die Prüfung des Modells auf Vollständigkeit der Attribute des Psets „Bauteilinformation_Strasse“. Dazu wird, wie in Bild 49 gezeigt und beschrieben, die Prüfmenge im Konfigurationsmenü festgelegt. Das Modell bleibt weiterhin die Variante 1 des Geh- und Radwegs.



Name	Prüfstatus	Ergebnis:Nachricht
Modellprüfung Radweg (2)		
Klassifizierung (1)	Undefined	
Klassifizierung (129)	Failed	
Bauteilinformationen_Strasse (1)	Undefined	
Bauteilinformationen_Strasse (3)	Failed	
Ignored (41)	Undefined	
Failed (52)	Undefined	
Passed (37)	Undefined	

Bild 49: Ergebnisse des Modellprüflauf „Bauteilinformation_Strasse“ der Variante 1 (Quelle: eigene Abbildung)

In Bild 49 sind die Ergebnisse aus dem Prüflauf „Bauteilinformation_Straße“ nach ihrem Status gruppiert dargestellt. Insgesamt wurden alle 129 Modellelemente erneut untersucht, wobei nur 37 den Status „Passed“ erhielten. Weitere 52 erhielten den Wert „Failed“ und die übrigen Modellelemente den Prüfstatus „Ignored“. Beim Vergleich der ignorierten Modellelemente mit den nicht bestandenen aus dem ersten Prüflauf fällt auf, dass die Anzahl identisch ist. Um zu untersuchen, ob es sich um einen Zufall oder einen logischen Zusammenhang handelt, ist es hilfreich, das Prüfmodell einzublenden (siehe Bild 50).

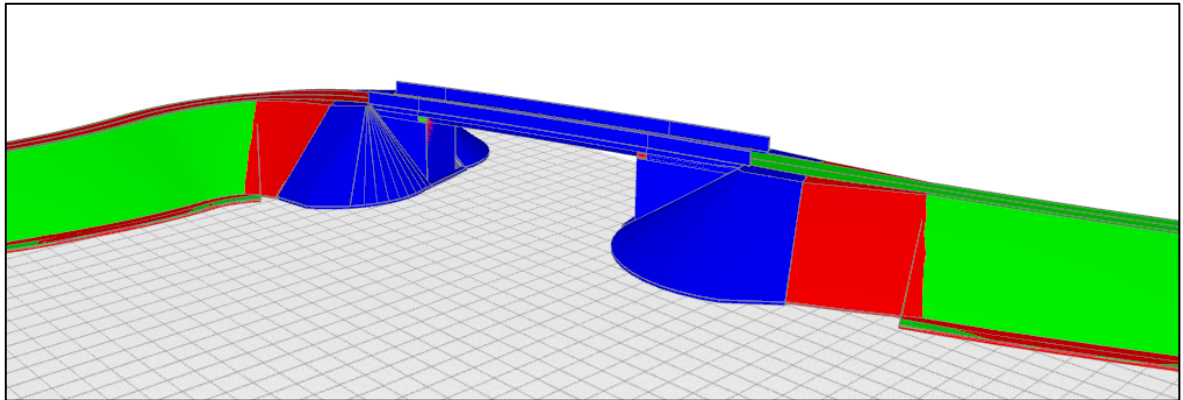


Bild 50: Grafische Darstellung des Modellprüflauf Bauteilinformation_Strasse (Quelle: eigene Abbildung)

Die grafische Darstellung bestätigt den Verdacht eines Zusammenhangs zwischen den beiden Modellprüfläufen. Die blau hervorgehobenen Bauteile entsprechen den roten aus dem Prüflauf „Klassifizierung“. Wie in Abschnitt 5.2.2 beschrieben, besteht der Prüflauf „Bauteilinformation_Strasse“ aus bedingten Regeln, was bedeutet, dass die Vorbedingung erfüllt sein muss, damit die untergeordneten einfachen Regeln geprüft werden können. Bei bedingten Regeln vergibt DESITE den Modellelementen den Wert „Ignored“, wenn die Vorbedingung nicht erfüllt ist. Darum sollte zuerst die Klassifizierung geprüft und nach Möglichkeit bereits dort nachgearbeitet werden. Neben den Prüfstatuswerten „Ignored“, „Failed“ und „Passed“ gibt es auch noch „Warning“. Dieser erscheint bei einer inkorrekten Eingabe der Regel, zum Beispiel durch Syntaxfehler. In Tabelle 4 sind alle möglichen Ergebnisse aufgeführt.

Tabelle 4: Farbzuordnung der Prüfstatuswerte (Quelle: eigene Abbildung)

Prüfstatus	Farbe	Bedeutung
Passed	Grün	Modellelement vollständig attribuiert
Failed	Rot	Modellelement unzureichend attribuiert
Ignored	Blau	Modellelement erfüllt Vorbedingung nicht
Warning	Gelb	Syntaxfehler bei Eingabe der Regel
Undefined	Grau	Standardwert (leerer Wert)

Der Abschluss der Modellprüfung erfolgt erneut mit der Ausgabe von Prüfberichten. In diesem Fall sollten neben den Modellelementen mit dem Status „Failed“ auch die mit dem Status „Ignored“ ausgedruckt werden.

5.3.2 Modellvariante 2

In diesem Abschnitt wird die zweite Variante, bei der der Geh- und Radweg parallel zur Straße verlaufen soll, untersucht.

Das Vorgehen ist identisch zu dem bei der Modellprüfung von Variante 1, weshalb hier nur auf die Ergebnisse der Prüfläufe eingegangen wird.

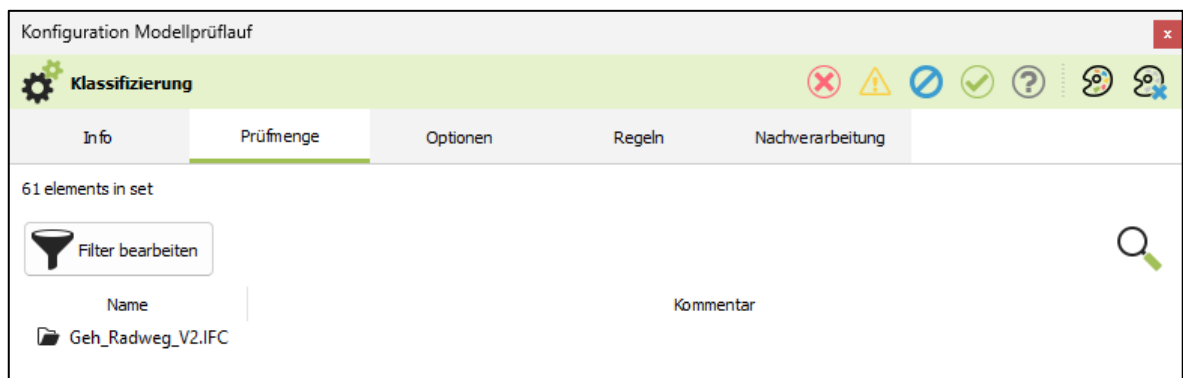


Bild 51: Prüfmenge der Variante 2 (Quelle: eigene Abbildung)

Zunächst wird die Variante 2 des Geh- und Radwegs in die Prüfmenge kopiert. Im Gegensatz zur ersten Variante besteht das Modell aus lediglich 61 Elementen.

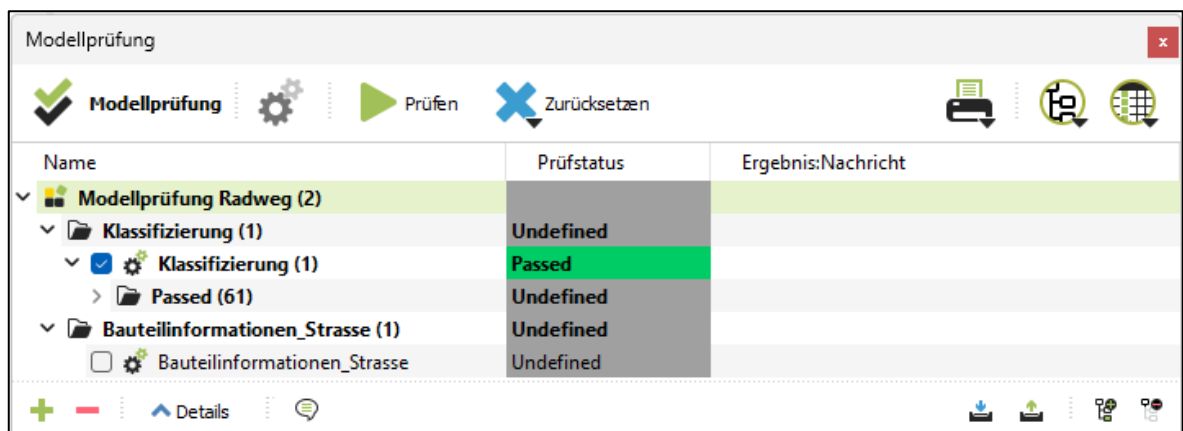


Bild 52: Ergebnisse des Modellprüflauf Klassifizierung der Variante 2 (Quelle: eigene Abbildung)

Bei der Ausführung des Modellprüflaufs „Klassifizierung“ zeigt sich, dass alle Elemente vollständig attribuiert wurden. Eine Gruppierung der Ergebnisse ergibt, dass alle 61 Bauteile die Statusangabe "Passed" aufweisen.

Name	Prüfstatus	Ergebnis:Nachricht
Modellprüfung Radweg (2)	Undefined	
Klassifizierung (1)	Undefined	
Klassifizierung (1)	Passed	
Passed (61)	Undefined	
Bauteilinformationen_Strasse (1)	Undefined	
Bauteilinformationen_Strasse (2)	Failed	
Passed (61)	Undefined	
Failed (1)	Undefined	
Ergebnisse : : 2026-03-31 11:17 (1)	Failed	

Bild 53: Ergebnisse des Modellprüflauf „Bauteilinformationen_Strasse“ der Variante 2 (Quelle: eigene Abbildung)

Das Gesamtergebnis von „Bauteilinformation_Straße“ zeigt, dass das Modell den Prüflauf nicht bestanden hat. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse fällt jedoch auf, dass 61 Bauteile den Prüfstatus „Passed“ aufweisen und das gesamte Modell auch nur aus 61 Modellelementen besteht.

Prüflauf	Bauteilinformationen_Strasse
# Geprüfte Elemente	61
# Bestanden	61
# Fehlgeschlagen	61
# Warnungen	0
# Ignoriert	0
# undefiniert	0

Bild 54: Info über geprüfte Elemente (Quelle: eigene Abbildung)

Im Konfigurationsmenü unter dem Punkt „Info“ wird deutlich, dass insgesamt nur 61 Elemente geprüft wurden, von denen gleichzeitig 61 bestanden und 61 fehlgeschlagen sind (siehe Bild 54). Unter Berücksichtigung dieses Ergebnisses muss davon ausgegangen werden, dass DESITE hier einen Fehler macht, da die Elemente doppelt geprüft wurden. Bei dem fehlgeschlagenen Ergebnis handelt es sich um eine Art Backup, das fälschlicherweise den Status „Failed“ erhielt. Insgesamt kann festgehalten werden, dass auch der zweite Modellprüflauf erfolgreich war, da es sich hierbei um einen Softwarefehler handelt und alle 61 Elemente den Prüflauf

bestanden haben. Trotzdem sollte der Bearbeiter in solchen Fällen gegebenenfalls händisch nachprüfen.

Der Modellprüflauf ist in Anlage 8 vereinfacht in einem Ablaufdiagramm dargestellt.

6 Bauablauf

In der Vergangenheit kam es durch die Bauausführung zu erheblichen Kostensteigerungen und Verzögerungen. Oft lag die Ursache in einer unzureichenden Bauablaufplanung, auch 4D-Planung genannt. Die Einführung von BIM revolutionierte die herkömmlichen Arbeitsweisen und führte in den bisherigen Pilotprojekten zu einer deutlichen Verbesserung der Einhaltung des vorgegebenen Zeitplans.

6.1 Anwendungsfall 120

Die modellbasierte Bauablaufplanung bzw. die Durchführung der Terminplanung ist in Awf 120 geregelt. Sie besteht im Wesentlichen aus der Erstellung eines Terminplans und der Verknüpfung der Vorgänge mit den entsprechenden Modellelementen zur Darstellung und Überprüfung.

Der Mehrwert einer modellbasierten Bauablaufplanung liegt in der erhöhten Nachvollziehbarkeit und Prüfbarkeit der Terminplanung. Auftretende Konflikte zwischen einzelnen Vorgängen können bereits im Modell identifiziert und optimiert werden. Dies gewährleistet eine höhere Terminalsicherheit und verbessert die Grundlage für das Controlling. Die Umsetzung des Awf erfordert einige Voraussetzungen. Zunächst sollten ein AIA und ein zwischen AG und AN abgestimmter BAP vorliegen, um zu definieren, wie der Bauablauf modelliert werden soll. Des Weiteren benötigt der AN eine geeignete Software mit Schnittstellen gemäß AIA und BAP. Die Terminplanung und die Modellstruktur müssen aufeinander abgestimmt sein und dürfen nicht einzeln erarbeitet werden. Außerdem sollten nur geprüfte Modelle aus der Planung verwendet werden. Zudem muss entsprechend geschultes Personal mit Erfahrung in der Erstellung von regulären Terminplänen sowie in der fachspezifischen Software eingesetzt werden.

Die Umsetzung der Bauablaufplanung erfolgt in 7 Schritten:

Zunächst müssen die Anforderungen aus AIA und BAP erfasst und berücksichtigt werden. Dazu gehören das Ziel, der Zweck, das benötigte Dateiformat, die Qualität und die Quantität der Bauablaufsimulation. Außerdem muss die Kompatibilität der Aufteilung der Modellelemente und des Terminplans berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss die verwendete Zeiteinheit vereinbart werden. Im nächsten Schritt wird auf Grundlage der Modelle ein BIM-konformer Terminplan erstellt. Dabei sollte der Autor die vom Ablauf abhängigen Verknüpfungen von Vorgängen mit

Modellelementen berücksichtigen. Anschließend wird der zweite Schritt in der im BAP vereinbarten Fachsoftware umgesetzt. Dazu gehört auch eine Prüfung der Verknüpfungen. Nachdem alle Modellelemente den Vorgängen zugeordnet wurden, kann die Bauablaufsimulation gestartet werden. Der Bearbeiter ist dafür verantwortlich, Konflikte zu identifizieren und zu beheben. Gegebenenfalls muss der Terminplan mit anderen des Projekts abgestimmt werden. Der Fokus dieser Maßnahme liegt auf der sauberen Ausarbeitung des Bauablaufs und nicht auf einer Anpassung an die Vorgaben aus AIA und BAP. Diese Aufgabe ist Bestandteil des nächsten Schritts. Hier prüft der Bearbeiter die Konformität der Terminplanung mit den in Umsetzungsschritt 1 definierten Anforderungen. Abschließend werden die erarbeiteten Ergebnisse zielgerichtet mit allen Beteiligten kommuniziert.

Nicht Teil der Umsetzung sind die Planung der Baustellenlogistik und die Baufortschrittskontrolle. Hierfür sind andere Anwendungsfälle definiert (siehe Abschnitt 2.2.3).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für eine Bauablaufplanung in BIM geprüfte Modelle im IFC-Format und ein Terminplan im MPP-Format benötigt werden. Die Bauablaufsimulation wird als NWD-Datei und als Video im AVI-Format ausgegeben [16, 17].

6.2 Vorgehensweise

Die Erläuterung der Bauablaufplanung erfolgt anhand des Fallbeispiels 2. Dabei wird schrittweise auf die Umsetzung nach Awf 120 eingegangen.

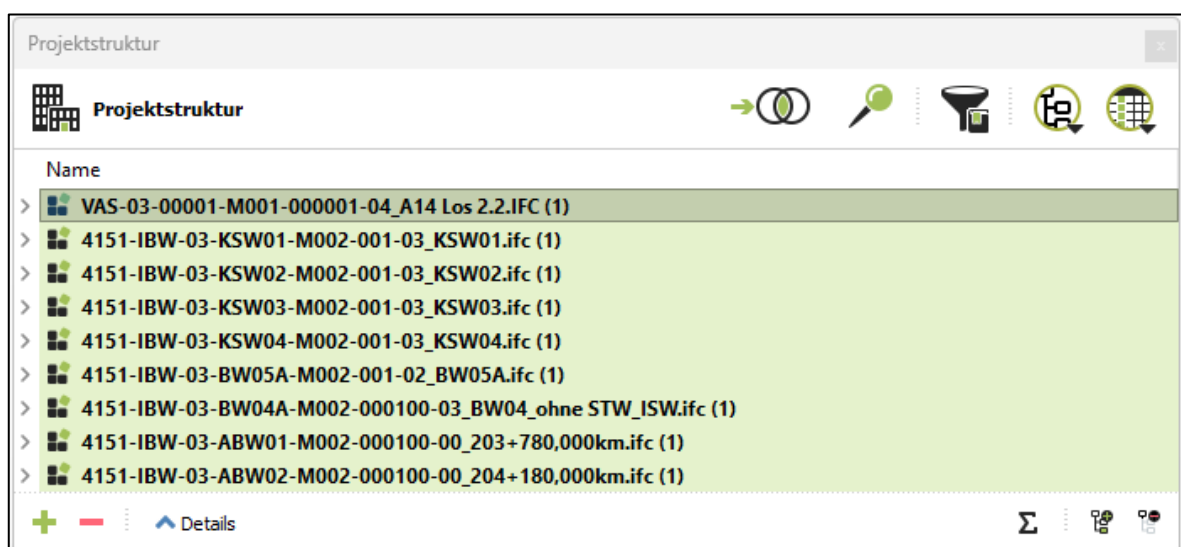


Bild 55: Projektstruktur des Fallbeispiel 2 (Quelle: eigene Abbildung)

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt dargelegt, sind für die modellbasierte Bauablaufplanung Bauwerksmodelle (IFC-Dateien) sowie ein Terminplan erforderlich. Das untersuchte Koordinationsmodell setzt sich aus insgesamt neun Einzelmodellen zusammen, die in DESITE importiert werden und in der Projektstruktur in Bild 55 dargestellt sind. Die erste Datei, die mit dem Kürzel "VAS" versehen ist, stellt die Verkehrsanlage, d. h. den Autobahnabschnitt, dar. Die nachfolgenden vier Modelle sind Lärmschutzwände. Die übrigen Modelle umfassen zwei Brückenbauwerke (BW) und zwei Durchlässe (ABW).

Der Terminplan orientiert sich an der Projektstruktur und wird in einer externen Software erstellt.

6.2.1 Bauablauf

Der Bauablauf wird mithilfe von Microsoft Project erstellt. Dabei handelt es sich um eine Software für das Projektmanagement, mit der sich Projekte planen, steuern und überwachen lassen. Die Software ermöglicht die Erstellung von Terminplänen, die Zuweisung von Ressourcen sowie die Kontrolle von Kosten und Fortschritt. Zudem unterstützt die Software die Organisation komplexer Projekte mit Funktionen wie Gantt-Diagrammen, Aufgabenverknüpfungen und Berichterstellung.

Für jeden Bauprozess wird im Terminplan ein spezifischer Vorgang mit einer definierten Dauer festgelegt. Nach Abschluss der Erstellung ist eine Verknüpfung der einzelnen Vorgänge erforderlich. Diese Verknüpfungen werden als Anordnungsbeziehungen bezeichnet. Unter dem Begriff der "Anordnungsbeziehungen" werden quantifizierbare Abhängigkeiten zwischen Ereignissen oder Vorgängen verstanden. Es existieren insgesamt vier Typen von Anordnungsbeziehungen: Anfang-Anfang (AA), Anfang-Ende (AE), Ende-Anfang (EA) und Ende-Ende (EE). Eine detaillierte Beschreibung ist in Tabelle 5 zu finden.

Tabelle 5: Anordnungsbeziehung der Vorgänge (Quelle: eigene Abbildung)

Anordnungsbeziehung	Beschreibung
AA	Anfang-Anfang Anordnungsbeziehung: Beide Vorgänge starten gemeinsam
EA	Ende-Anfang Anordnungsbeziehungen: Mit dem Start des ersten Vorgangs, endet der zweite Vorgang

AE	Anfang-Ende Anordnungsbeziehungen: Mit dem Ende des ersten Vorgangs beginnt der zweite Vorgang
EE	Ende-Ende Anordnungsbeziehungen: Beide Vorgänge enden zusammen

Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf die im Bauablauf ablaufenden Vorgänge. Der gesamte Terminplan, welcher in MS Project erstellt wurde, ist in Anlage 9 dargestellt.

Die Baumaßnahme erstreckt sich über einen Zeitraum von 593 Tagen und besteht aus vier Bauphasen, welche linear, d. h. nacheinander, ablaufen. Im Rahmen der Bauphase 1 erfolgt die Errichtung einzelner Bauwerke in paralleler Ausführung, mit dem Ziel, den erforderlichen Zeitaufwand zu minimieren.

In der ersten Bauphase (siehe Bild 56) erfolgt zunächst der Abtrag des Oberbodens, um das Baufeld zu erschließen. Im Anschluss werden die bedeutendsten Ingenieurbauwerke (BW04 und BW05) hergestellt. Der Errichtungsprozess dieser Bauwerke folgt einer traditionellen Abfolge: Zunächst wird eine Sauberkeitsschicht eingebracht, daraufhin das Fundament angelegt, die Widerlager konstruiert. Abschließend wird für das BW04 der Überbau hergestellt. Dieser Vorgang erfolgt auf Grund der Art des BW05 (Stabbogenbrücke) für dieses erst in der zweiten Bauphase. In diesem Kontext werden ebenfalls kleinere Bauwerke wie Durchlässe errichtet. Eine verbesserte Planung des Bauablaufs, die Zeit und Ressourcen effektiv einsetzt, wird durch die teilweise gleichzeitige Umsetzung dieser Maßnahmen deutlich.

In der zweiten Bauphase liegen die Schwerpunkte auf umfangreichen Erdarbeiten. Nach Abschluss des Oberbodenabtrags in der ersten Bauphase erfolgt der Auftrag neuer Erdmengen sowie die Hinterfüllung von Ingenieurbauwerken. Dieser Prozess dient der Modellierung des Geländes und der Vorbereitung auf die darauffolgenden Bauvorgänge. Es werden auch Entwässerungselemente wie Mulden und Böschungen angelegt. In dieser Phase wird der Überbau von BW05 abgeschlossen, wodurch eine funktionale Eingliederung des Bauwerks in den weiteren Verlauf der Strecke realisiert wird.

In der dritten Bauphase liegt der Fokus auf dem Oberbau. Zunächst erfolgt die Installation einer Sickerleitung, gefolgt von der Einbringung der Frostschutzschicht, die als tragfähige Basis dient. In der Folge werden die Tragschichten für beide

Fahrbahnen hergestellt. Anschließend erfolgt der Einbau von Binder- und Deckschicht. Der Abschluss dieser Phase erfolgt mit der Herstellung der Bankette, die für die Entwässerung und die Verkehrssicherheit sorgen.

In der finalen Bauphase 4 erfolgen zusätzliche konstruktive und infrastrukturelle Maßnahmen. Hierzu zählt die Errichtung von Lärmschutzwänden und Fahrzeugrückhaltesysteme. Zusätzlich werden Wartungswege an den IBW errichtet. In dieser Phase erfolgt die funktionale Vollständigkeit der Baumaßnahme, welches anschließend in Betrieb geht.

6.2.2 Implementierung in DESITE BIM

#	Name	Dauer	Start	Ende
1	MS Project MPP [P...	593.00 Tage	18.03.2026 08:00	23.06.2028 17:00
1.1	Bauablauf	593.00 Tage	18.03.2026 08:00	23.06.2028 17:00
1.1.1	Bauphase 1	182.00 Tage	18.03.2026 08:00	26.11.2026 17:00
1.1.2	Bauphase 2	233.00 Tage	27.11.2026 08:00	19.10.2027 17:00
1.1.3	Bauphase 3	145.00 Tage	20.10.2027 08:00	09.05.2028 17:00
1.1.4	Bauphase 4	33.00 Tage	10.05.2028 08:00	23.06.2028 17:00

Bild 56: Struktur des Bauablauf (Quelle: eigene Abbildung)

Der Import des Terminplans in DESITE kann über die Option "Terminpläne, Leistungsverzeichnisse und andere Formate hinzufügen" erfolgen.

Der importierte Bauablaufplan wird automatisch als neuer Vorgang in der Liste "Vorgänge" registriert (siehe Bild 56). Es besteht demnach keine Notwendigkeit, zunächst in DESITE einen neuen Vorgang anzulegen.

Im folgenden Schritt ist es erforderlich, das Modell mit dem importierten Terminplan zu verbinden. Es gibt zwei Möglichkeiten: die manuelle und die regelbasierte Verknüpfung.

Die manuelle Verknüpfung von Terminplanvorgängen mit geometrischen Objekten erfolgt in der Regel durch die Auswahl eines oder mehrerer Objekte und die anschließende Zuordnung des entsprechenden Prozessbausteins. Der Begriff "Prozessbaustein" wird von DESITE verwendet, um einen spezifischen Vorgang im

Kontext des Bauablaufs zu bezeichnen. Die Vorteile dieser Methode liegen in der geringen Vorbereitungszeit und darin, dass eine Realisierung ohne Fachkenntnisse möglich ist. Im Vergleich zu regelbasierten Verknüpfungen ist die Umsetzung außerdem einfacher. Dennoch steigt der benötigte Zeitaufwand insbesondere bei umfangreichen Projekten sukzessive. Zudem zeigen Erfahrungen, dass die Fehleranfälligkeit im Vergleich zu regelbasierten Verknüpfungsmethoden deutlich höher ist. Bei Änderungen im BIM-Modell besteht außerdem die Notwendigkeit der manuellen Nacharbeitung.

Bei regelbasierten Verknüpfungen bedient sich der Anwender an definierten Suchmuster und Filter, um Modellelemente mit Vorgängen aus dem Terminplan zu verknüpfen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode besteht darin, dass bei einmaliger Festlegung der Verknüpfungsregel eine Zuordnung aller Bauteile zu einer bestimmten Position erfolgt. In Anbetracht von geometrischen Änderungen im Modell manifestiert sich diese Variante als resistent, unter der Prämisse, dass das Attribuierungsmuster beibehalten wird. Diese Methode hat sich in den letzten Jahren in vielen Ingenieurbüros etabliert, jedoch ergaben sich bei der praktischen Nutzung auch Schwierigkeiten und Probleme.

In einer signifikanten Anzahl von Fällen sind die Qualität und Quantität der Attribute als unzureichend zu erachten. Des Weiteren ist eine enge Verknüpfung des Terminplans mit der Projektstruktur erforderlich.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt (April 2026) wird diese Methode als Stand der Technik betrachtet und findet auch in diesem Fallbeispiel Anwendung.

Die Grundlage der Verknüpfung bildet ein Attribut, das alle Modellelemente besitzen. In diesem Beispiel ist es das Merkmal „DEGES_Bauteilinformation:Infra_QTO-Description“. Es gehört zu den im BAP vereinbarten Basisattributen zur Klassifizierung der Modellelemente und gilt in allen Modellen.

Es empfiehlt sich, vor der Definition der Verknüpfungsregeln eine Modellprüfung durchzuführen, um sicherzustellen, dass jedes Modellelement das ausgewählte Attribut besitzt. Im Falle der Nichtberücksichtigung einzelner Modellelemente bei der Bauablaufsimulation ist mit der Konsequenz zu rechnen, dass diese nicht in die Analyse einbezogen werden können.

Die Erstellung einer Verknüpfungsregel in DESITE erfolgt durch Auswahl des Ketten-Symbols im Menü, welches sich zwischen "Vorgänge" und „Berechnen“ befindet.

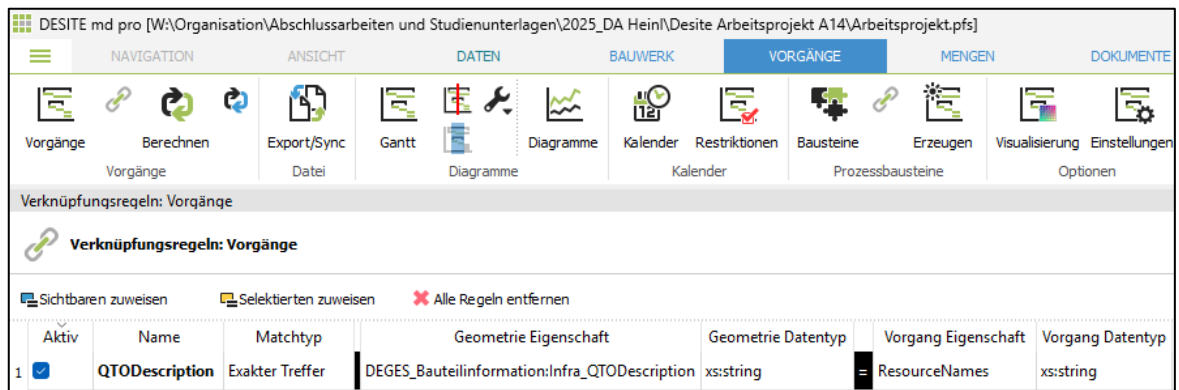


Bild 57: Verknüpfungsregel zwischen Eigenschaft ResourceNames und Attribut Infra_QTODescription (Quelle: eigene Abbildung)

Eine Verknüpfungsregel vergleicht die Werte der Attribute (geometrische Eigenschaften) mit Eigenschaften aus den Vorgängen. Im Falle einer Übereinstimmung erfolgt eine Zuordnung des Modellelements zum jeweiligen Vorgang. Die Eigenschaften aus den Vorgängen müssen separat als zusätzliche Spalten in MS Project angelegt werden. In diesem Fall wird die Eigenschaft „ResourceNames“ in den Terminplan eingepflegt. Damit die Verknüpfungsregel funktioniert muss nun der exakte Wert aus dem Attribut in die Eigenschaft eines Vorgangs im Bauablaufplan übertragen werden. Die Formel der Verknüpfung für den Bauablauf lautet somit wie folgt:

$$\text{DEGES_Bauteilinformation:Infra_QTODescription} = \text{ResourceNames} \quad (3)$$

Die Verknüpfungsregel in DESITE (siehe Bild 57) besteht aus mehreren Spalten. Die erste Spalte „Name“ der Regel lautet QTODescription. Es besteht die Möglichkeit, den Matchtyp zu konfigurieren, was bedeutet, dass definiert werden kann, nach welchem Schema die Elemente mit den Vorgängen assoziiert werden. In diesem Fall werden ausschließlich exakte Treffer verknüpft. Dies impliziert, dass der Wert des Attributs mit der Eigenschaft aus dem Bauablauf übereinstimmen muss. In der nächsten Spalte wird das Attribut des Modellelements in "Geometrie Eigenschaft" aufgeführt. In vorliegendem Fall wird das Merkmal „DEGES-Bauteilinformation:Infra_QTODescription“ verwendet. Im Anschluss wird die Eigenschaft aus dem Bauablauf, in diesem Fall "ResourceNames", in die Spalte "Vorgang Eigenschaft" geschrieben. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, den Datentyp des Attributs bzw. der Eigenschaft zu hinterlegen.

Die Anwendung der Verknüpfungsregel erfordert die Selektion sichtbarer Elemente. Demnach findet eine Zuweisung der Regel auf alle Elemente, die eingeblendet sind, statt. Des Weiteren besteht die Option, lediglich selektierte Elemente zuzuweisen.

Im Anschluss ist eine Aktualisierung der Verknüpfungsregel erforderlich. Die Ausführung der Regel erfolgt, wobei eine automatische Zuordnung der Modellelemente zu dem entsprechenden Vorgang erfolgt.

Vorgänge						
Vorgänge Simulation Abspielen Animation exportieren						
#	Name	Dauer	Start	Ende	ResourceNames	
1	MS Project MPP [Projekt1.mpp]	593.00 Tage	18.03.2026 08:00	23.06.2028 17:00		
1.1	Bauablauf	593.00 Tage	18.03.2026 08:00	23.06.2028 17:00		
1.1.1	Bauphase 1	182.00 Tage	18.03.2026 08:00	26.11.2026 17:00		
1.1.1.1	Oberbodenabtrag (» 100)	20.00 Tage	18.03.2026 08:00	14.04.2026 17:00	Oberbodenabtrag	
1.1.1.2	BW04A	100.00 Tage	15.04.2026 08:00	01.09.2026 17:00		
1....	Sauberkeitsschicht (» 4)	1.00 Tag	15.04.2026 08:00	15.04.2026 17:00	Sauberkeitsschicht	
1....	Fundament BW04 (» 4)	11.00 Tage	16.04.2026 08:00	30.04.2026 17:00	Fundament_BW04	
1....	Widerlager BW04 (» 8)	46.00 Tage	01.05.2026 08:00	03.07.2026 17:00	Widerlager_BW04	
1....	Überbau BW04 (» 20)	42.00 Tage	06.07.2026 08:00	01.09.2026 17:00	Überbau_BW04	
1.1.1.3	BW05A	162.00 Tage	15.04.2026 08:00	26.11.2026 17:00		
1....	Fundament BW05 (» 44)	92.00 Tage	15.04.2026 08:00	20.08.2026 17:00	Fundament_BW05	
1....	Widerlager BW05 (» 5)	70.00 Tage	21.08.2026 08:00	26.11.2026 17:00	Widerlager_BW05	
1.1.1.4	ABW01	5.00 Tage	15.04.2026 08:00	21.04.2026 17:00		
1....	Durchlass (» 30)	5.00 Tage	15.04.2026 08:00	21.04.2026 17:00	Durchlass	
1.1.1.5	ABW02	5.00 Tage	15.04.2026 08:00	21.04.2026 17:00		
1....	Durchlass (» 30)	5.00 Tage	15.04.2026 08:00	21.04.2026 17:00	Durchlass	
1.1.2	Bauphase 2	233.00 Tage	27.11.2026 08:00	19.10.2027 17:00		
1.1.2.1	Abtrag (» 59)	3.00 Tage	27.11.2026 08:00	01.12.2026 17:00	Abtrag	
1.1.2.2	Auftrag (» 128)	155.00 Tage	02.12.2026 08:00	06.07.2027 17:00	Auftrag	
1.1.2.3	Hinterfüllung (» 25)	10.00 Tage	02.12.2026 08:00	15.12.2026 17:00	Hinterfüllung	
1.1.2.4	Überbau BW05 (» 329)	75.00 Tage	07.07.2027 08:00	19.10.2027 17:00	Überbau_BW05	
1.1.2.5	Mulde_links (» 90)	10.00 Tage	02.12.2026 08:00	15.12.2026 17:00	Mulde_links	
1.1.2.6	Mulde_rechts (» 90)	10.00 Tage	02.12.2026 08:00	15.12.2026 17:00	Mulde_rechts	
1.1.2.7	Böschung (» 15)	5.00 Tage	16.12.2026 08:00	22.12.2026 17:00	Böschung	
1.1.3	Bauphase 3	145.00 Tage	20.10.2027 08:00	09.05.2028 17:00		
1.1.3.1	Sickerleitung (» 94)	7.00 Tage	20.10.2027 08:00	28.10.2027 17:00	Sickergraben_Mitte	
1.1.3.2	Frostschuttschicht (» 94)	21.00 Tage	29.10.2027 08:00	26.11.2027 17:00	Frostschuttschicht	
1.1.3.3	Tragschicht rechts (» 98)	52.00 Tage	29.11.2027 08:00	08.02.2028 17:00	TragschichtR	
1.1.3.4	Tragschicht links (» 97)	52.00 Tage	29.11.2027 08:00	08.02.2028 17:00	TragschichtL	
1.1.3.5	Binderschicht rechts (» 94)	21.00 Tage	09.02.2028 08:00	08.03.2028 17:00	DeckschichtR2	
1.1.3.6	Binderschicht links	21.00 Tage	09.02.2028 08:00	08.03.2028 17:00	DeckschichtL2	
1.1.3.7	Deckschicht rechts (» 106)	30.00 Tage	09.03.2028 08:00	19.04.2028 17:00	DeckschichtR1	
1.1.3.8	Deckschicht links (» 108)	30.00 Tage	09.03.2028 08:00	19.04.2028 17:00	DeckschichtL1	
1.1.3.9	Bankett rechts (» 109)	14.00 Tage	20.04.2028 08:00	09.05.2028 17:00	Bankettrechts	
1.1.3....	Bankett links (» 78)	14.00 Tage	20.04.2028 08:00	09.05.2028 17:00	Bankettlinks	
1.1.3....	Mittelstreifen (» 70)	14.00 Tage	20.04.2028 08:00	09.05.2028 17:00	Mittelstreifen	
1.1.4	Bauphase 4	33.00 Tage	10.05.2028 08:00	23.06.2028 17:00		
1.1.4.1	Gründung (» 266)	5.00 Tage	10.05.2028 08:00	16.05.2028 17:00	Gründung	
1.1.4.2	Pfosten (» 168)	8.00 Tage	17.05.2028 08:00	26.05.2028 17:00	Pfosten	
1.1.4.3	Wände (» 730)	10.00 Tage	29.05.2028 08:00	09.06.2028 17:00	Wände	
1.1.4.4	Wartungsweg (» 2)	3.00 Tage	12.06.2028 08:00	14.06.2028 17:00	Wartungsweg	
1.1.4.5	Ausstattung (» 704)	10.00 Tage	12.06.2028 08:00	23.06.2028 17:00	Ausstattung	

Bild 58: Bauablaufplan mit verknüpften Modellelementen (Quelle: eigene Abbildung)

Bild 58 zeigt den gesamten Bauablauf mit den einzelnen Vorgängen. An den Vorgängen kann der Benutzer erkennen, ob die Verknüpfung mit den Modellelementen

erfolgreich war. Steht hinter dem Namen eine Klammer mit einer Zahl, gibt diese die Anzahl der zu diesem Vorgang zugeordneten Elemente an.

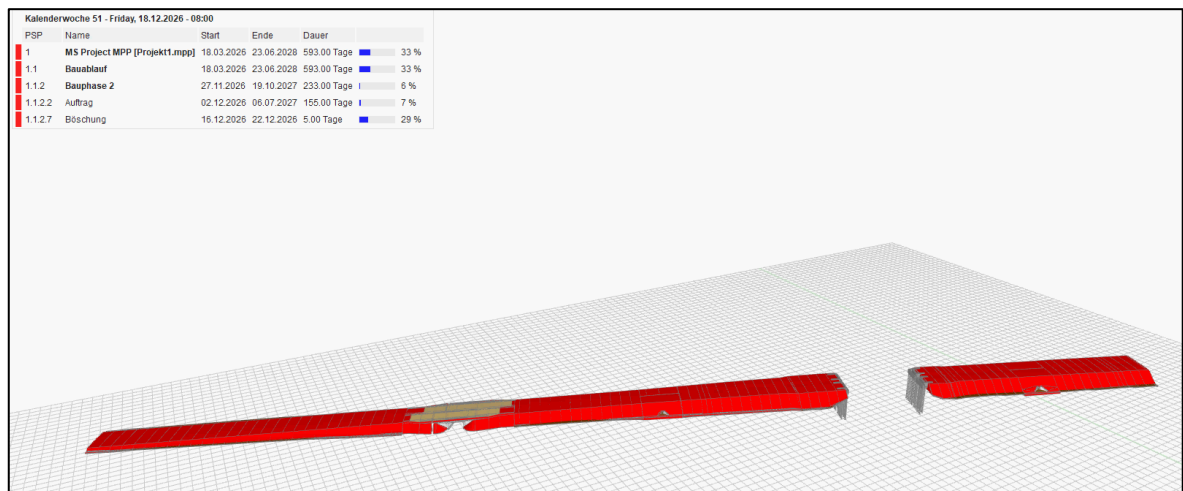


Bild 59: Auszug aus der Bauablaufsimulation (Quelle: eigene Abbildung)

Um zu überprüfen, ob die richtigen Elemente dem Vorgang zugeordnet wurden, kann eine Bauablaufsimulation gestartet werden. Bild 59 zeigt einen Auszug, der den Vorgang „Auftrag“ in der zweiten Bauphase darstellt. Dies ist daran zu erkennen, dass die zum Vorgang zugeordneten Modellelemente rot eingefärbt sind. Im Fenster in der oberen linken Ecke sieht man außerdem den aktuell laufenden Bauvorgang mit Anfangs- und Enddatum, Dauer und Fertigstellungsgrad. Diese Bauablaufsimulation wird für die weitere BIM-Planung benötigt und dem Auftraggeber als AVI-Datei übergeben.

7 Mengen- und Kostenermittlung

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Mengen- und Kostenermittlung (auch 5D-Planung) anhand des zweiten Fallbeispiels durchgeführt. Dies stellt einen zentralen Anwendungsfall im BIM-Prozess dar. Das Ziel besteht darin, die aus dem Bauwerksmodell abgeleiteten Mengen mit den entsprechenden Kosten zu verknüpfen, um eine modellbasierte, transparente und anpassungsfähige Kostenermittlung zu ermöglichen.

7.1 Anwendungsfall 100

Wie bereits in Abschnitt 2.2.2 dargelegt, bildet die Mengen- und Kostenermittlung einen integralen Bestandteil des AwF 100. In erweiterter Form können zudem der AwF 110 sowie dessen Bestandteile miteinbezogen werden, da die entsprechenden Mengen und Gesamtkosten in DESITE in einem LV zusammengetragen werden. Die 5D-Planung stellt einen essenziellen Bestandteil der Planung von Verkehrsanlagen dar.

Die grundlegende Komponente des Anwendungsfall ist eine Kostenschätzung und/oder Kostenberechnung nach üblichen Kostengliederungen (AKVS, DIN 276-4, etc.) auf Basis strukturierter und objektbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) aus den Modellen.

Der Mehrwert der Umsetzung des AwF besteht in der Möglichkeit einer schnellen Ermittlung von Mengen und Kosten durch den Einsatz automatisierter Prozesse. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Planungsänderungen unmittelbar zu berücksichtigen, da diese formelbasiert mit der entsprechenden Position im LV verknüpft sind. Ein weiterer Aspekt, der in diesem Zusammenhang von Relevanz ist, ist die Qualität der Darstellung, die Nachvollziehbarkeit und die technische Prüfbarkeit der Vorgänge sowie der Ergebnisse. Für die erfolgreiche Umsetzung des AwF müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Zunächst sollten die Anforderungen aus dem AIA und dem BAP berücksichtigt werden. Anschließend werden die geprüften Modelle in die Koordinationsoftware importiert und zu einem Koordinationsmodell zusammengefügt. Daraufhin erfolgt die modellbasierte Ableitung der Mengen sowie die manuelle Ermittlung derjenigen, die sich nicht aus dem Modell ableiten lassen. Abschließend werden die Kosten aus den Mengen ermittelt.

Nicht Bestandteil des Anwendungsfall ist die Auswahl der Kostenstruktur, da diese im Projekt definiert werden muss [17, 18].

7.2 Vorgehensweise

Die Ermittlung der Mengen und Kosten erfolgt anhand des Fallbeispiels 2. Die Vorgehensweise erfolgt in DESITE BIM. In diesem Abschnitt werden zuerst die Mengen betrachtet, da sich aus ihnen die Kosten ableiten lassen. Die Kosten werden nach der Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen (AKVS) strukturiert. Bei dieser Anweisung handelt es sich um eine Richtlinie, welche vom BMVI herausgegeben wird. Sie bildet die Grundlage für das Kostenmanagement in Bezug auf Um-, Aus-, Neubau und der Erneuerungen von Ingenieurbauwerken, Straßen und sonstigen Verkehrsanlagen. Das Instrument des Kostenmanagement beschreibt Methoden zur Kostenermittlung, der Kostenabstimmung und der Kontrolle von Kosten ferner jedoch die Kostenveranschlagung und -fortschreibung von Straßenbauleistungen.

Die Mengen und Kosten werden in DESITE in einem Leistungsverzeichnis (LV) ermittelt. Ein LV besteht aus Positionen in dem jedes einzelne Modellelement aufgelistet ist. Die Herausforderung für den Benutzer besteht darin, die Modellelemente zu den entsprechenden Positionen zuzuordnen. Wie schon in der Bauablaufplanung muss ein Merkmal mit einer Eigenschaft aus dem LV verknüpft werden. In Bild 60 sind die Basisattribute des Fallbeispiels 2 abgebildet:

	Merkmale	Datentyp	LOI			
			100	200	300	400
IfcPorpertySet - Bauteilinformation	LOG	string				
	LOI	string				
	Quelle/Herkunft der Daten	string				
	Bauteilklassifikation	string				
	Bauteil	string				
	Einbauort	string				
	Bemerkung	string				

Bild 60: projektspezifische Basisattributliste (Quelle: eigene Abbildung)

Das Attribut `[[DEGES_Bauteilinformation:Bauteilklassifikation]]` enthält die Kostenberechnungskatalognummer (kurz. KBK-Nr.) aus der AKVS. Es handelt sich um eine achtstellige Nummer, die die einzelnen Leistungen beschreibt. Die KBK-Nr.

ordnet den Positionen eine Mengeneinheit (ME) zu und einen Einheitspreis (EP). Um sicherzustellen, dass das Attribut bei allen Modellelementen vorhanden ist, empfiehlt es sich, eine Modellprüfung durchzuführen, wie in Abschnitt 5 beschrieben. In den folgenden zwei Kapiteln wird erläutert, wie sich die Mengen und Kosten in DESITE ermitteln lassen.

7.2.1 Mengenermittlung

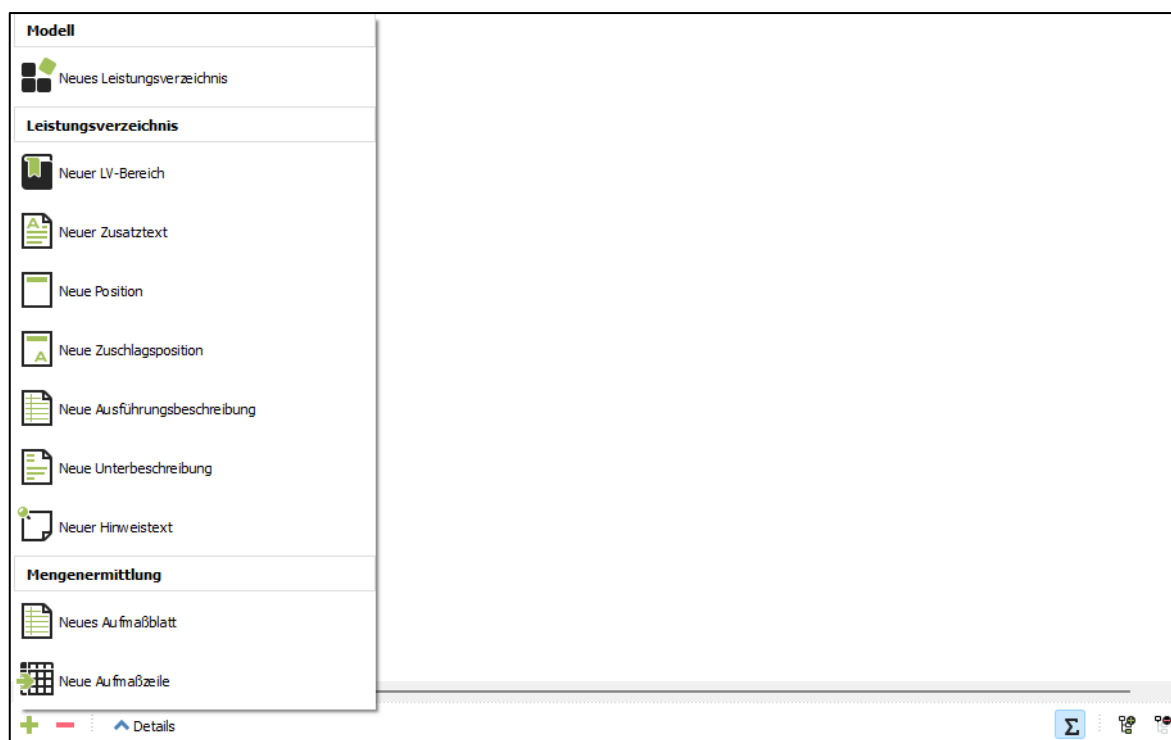


Bild 61: Erstellen eines LV in DESITE (Quelle: eigene Abbildung)

Die Grundlage der Mengenermittlung ist das Leistungsverzeichnis (kurz LV). In Bild 61 ist dargestellt, wie das LV erstellt wird. Zunächst muss der Bearbeiter auf „Neues Leistungsverzeichnis“ klicken und anschließend weitere LV-Bereiche anlegen. In diesem Beispiel werden vier übergeordnete LV-Bereiche erstellt: „Erdbau und Entwässerung“, „Oberbau“, „Konstruktiver Ingenieurbau“ und „Sonstige Ausstattung“. In die einzelnen Bereiche werden anschließend die Positionen eingetragen. Anstatt das LV händisch zu erstellen, kann auch ein externes LV importiert werden, sofern es im GAEB-Format vorliegt.

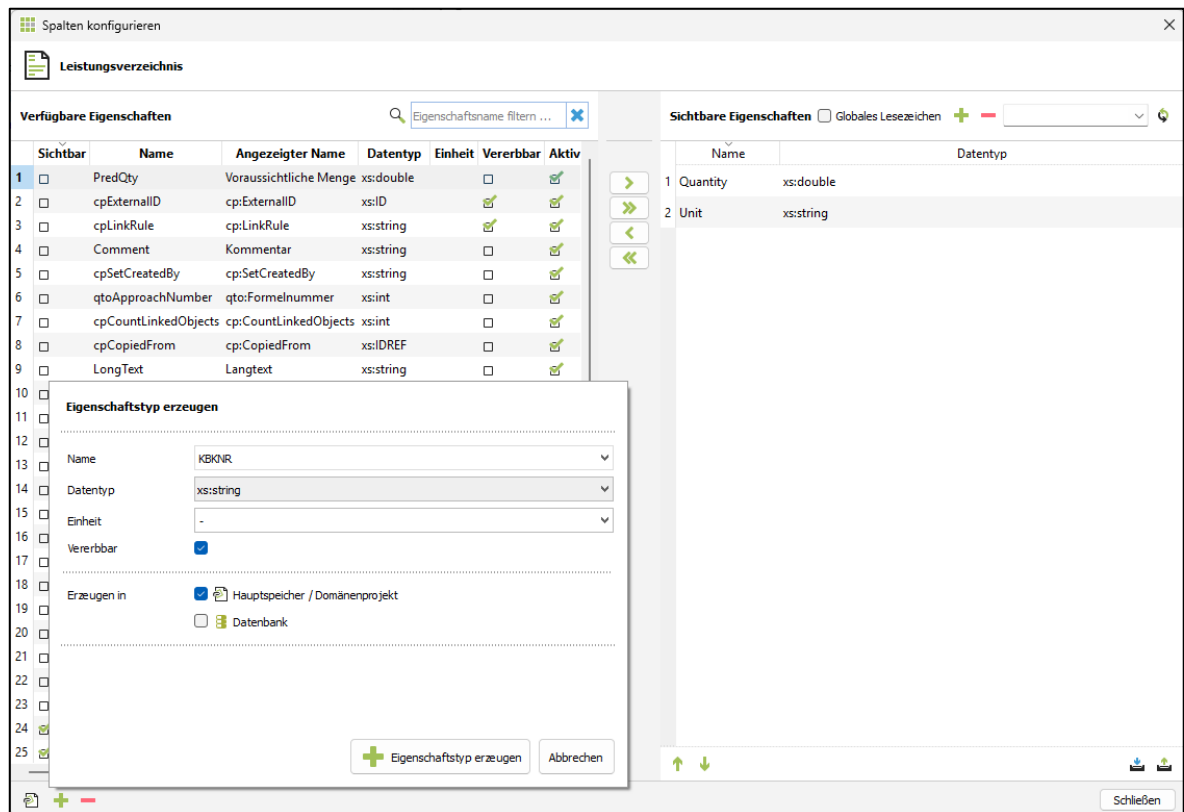


Bild 62: Neue Eigenschaft KBKNR erzeugen (Quelle: eigene Abbildung)

Im nächsten Schritt müssen die Eigenschaften „Quantity“ und „Unit“ von den verfügbaren in die sichtbaren Eigenschaften transferiert werden. „Sichtbar“ bedeutet in diesem Fall, dass sie im LV als Spalten angezeigt werden. Zusätzlich muss die neue Spalte „KBKNR“ erstellt werden, da diese anschließend mit dem Attribut `[[DEGES_Bauteilinformation:Bauteilklassifikation]]` verknüpft wird (siehe Bild 62). Die Eigenschaften „Quantity“ und „Unit“ erzeugt DESITE automatisch bei der Generierung des LV. In die Spalten können für jede Position die entsprechenden KBK-Nummern (in Feld: KBKNR) und die dazugehörigen ME (in Feld: Einheit) aus der AKVS händisch übertragen werden. An dieser Stelle muss der Bearbeiter besonders aufmerksam arbeiten, da hier eine der größten Fehlerquellen liegt. Nach einmaliger Eingabe der Eigenschaft KBKNR kann das LV jedoch exportiert werden. Die Eigenschaft bleibt dabei bestehen und muss im nächsten Schritt nicht erneut in das LV eingepflegt werden.

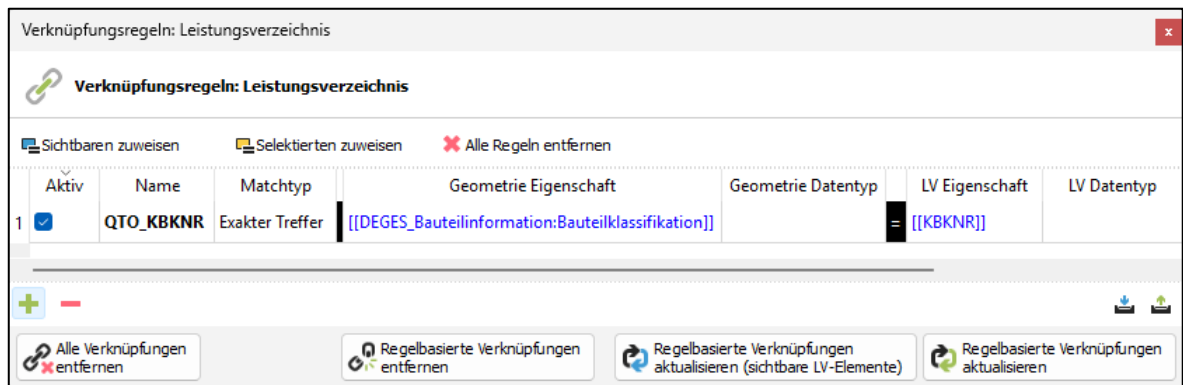


Bild 63: Verknüpfungsregel QTO_KBKNR (Quelle: eigene Abbildung)

Im nächsten Schritt wird die Verknüpfungsregel definiert (Bild 63). Dabei wird festgelegt, dass das Attribut `[[DEGES_Bauteilinformation:Bauteilklassifikation]]` mit der Eigenschaft KBKNR aus dem LV verknüpft wird. Die Formel lautet:

$$\text{DEGES_Bauteilinformation:Bauteilklassifikation} = \text{KBKNR} \quad (4)$$

Wenn beide Werte exakt übereinstimmen, wird das Modellelement dem entsprechenden Vorgang zugeordnet. Die Verknüpfung kann allen sichtbaren Elementen zugewiesen werden. Nach der Aktualisierung wurden hinter den Positionen Zahlen hinzugefügt, die die Anzahl der zugeordneten Modellelemente beschreiben. Bei Änderungen am Modell muss die Verknüpfungsregel erneut auf alle sichtbaren Elemente zugewiesen und aktualisiert werden.

Leistungsverzeichnis				
PSP	Name	KBKNR	Menge	Einheit
✓	LV Gesamt			
>	01 Erdbau und Entwässerung			
✓	02 Oberbau			
✓	02.01 Schichten ohne Bindemittel			
☐	02.01... Frostschuttschicht herstellen (» 94)	5.112.1.010	=SUM_LINKED([[cpVolume##xs:double##geometry]])	m³
☐	02.01... Bankette herstellen (» 280)	5.112.9.020	=SUM_LINKED([[cpVolume##xs:double##geometry]])	m³
✓	02.02 Asphaltbauweisen			
☐	02.02... Asphalttragschicht herstellen, Einbaudicke 22 cm (» 204)	5.113.1.050	=SUM_LINKED([[cpTopArea##xs:double##geometry]])	m²
☐	02.02... Asphaltbinderschicht herstellen, Einbaudicke 10 cm (» 190)	5.113.2.030	=SUM_LINKED([[cpTopArea##xs:double##geometry]])	m²
☐	02.02... Deckschicht aus Asphaltbeton im Fahrbahnbereich herstellen (» 26)	5.113.3.010	=SUM_LINKED([[cpTopArea##xs:double##geometry]])	m²
☐	02.02... Deckschicht aus Gussasphalt herstellen (» 213)	5.113.3.040	=SUM_LINKED([[cpTopArea##xs:double##geometry]])	m²
✓	02.03 Pflasterdecken, Pflasterbeläge, Einfassungen			
☐	02.03... Pflasterdecke mit Pflastersteinen aus Beton herstellen (» 3)	5.115.1.020	=SUM_LINKED([[cpTopArea##xs:double##geometry]])	m²
☐	02.03... Plattenbelag herstellen (» 87)	5.115.2.021	=SUM_LINKED([[cpTopArea##xs:double##geometry]])	m²
☐	02.03... Hochbordsteine aus Beton setzen (» 35)	5.115.3.020	=SUM_LINKED([[cpBaseArea##xs:double##geometry]])/0,5	m
☐	02.03... Flachbordsteine aus Beton setzen (» 24)	5.115.3.040	=SUM_LINKED([[cpBaseArea##xs:double##geometry]])/0,5	m
☐	02.03... Rinnen, Mulden oder Streifen aus Pflaster aufnehmen und verwerten (» 40)	5.115.4.010	=SUM_LINKED([[cpBaseArea##xs:double##geometry]])/1,5	m
>	03 Konstruktiver Ingenieurbau			
>	04 Ausstattung			

Bild 64: LV mit zugeordneten Mengenattributen (Quelle: eigene Abbildung)

Abschließend werden mit den Mengenattributen aus den Modellen die Gesamtmen gen berechnet (siehe Bild 64). Zulässige Mengeneinheiten sind m³, m², m und eine

pauschale Anzahl an Elementen in der Position (psch). Diese lassen sich zum Teil aus dem Modellelementen ableiten.

In Tabelle 6 sind die einzelnen Größen mit den Attributen dargestellt.

Tabelle 6: Herleitung der Mengen aus dem Fachmodell (Quelle: eigene Abbildung)

Menge	ME	Messung
Anzahl	psch	Händische Messung oder Zählung
Länge	m	Händische Messung in Koordinationssoftware
Fläche	m ²	[[cpTopArea##xs:double##geometry]] [[cpBaseArea##xs:double##geometry]] [[cpSurfaceArea##xs:double##geometry]]
Volumen	m ³	[[cpVolume##xs:double##geometry]]

Es zeigt sich das die Länge nicht direkt aus dem Fachmodell entnommen werden kann, sondern manuell durch händische Messung aus dem Koordinationsmodell hergeleitet werden kann. Das kommt daher das DESITE nur Volumenkörper auswerten kann. So kann lediglich dessen Ausdehnung in xyz-Richtung beschrieben werden aber nicht die genaue Länge. Allerdings kann die Länge bei Elementen mit einer konstanten Breite z.B. Bordsteine, Pflasterzeilen oder Mulden über die Länge hergeleitet werden, indem man die Fläche durch die Breite dividiert.

Die Fläche und Volumen sind Eigenschaften, die sich direkt aus der Geometrie ableiten lassen und stehen daher in DESITE unter dem Pset „cp“ zur Verfügung.

Das Attribut [[cpTopArea##xs:double##geometry]] beschreibt die Fläche, deren Normalenvektor eine Abweichung von weniger als 45° von der positiven z-Achse aufweist. Das heißt sozusagen die Fläche der Draufsicht. Hingegen beschreibt [[cpBaseArea##xs:double##geometry]] die Fläche, deren Normalenvektor eine Abweichung von weniger als 45° von der negativen z-Achse aufweist. Das heißt sozusagen die Fläche der Untersicht. Die Eigenschaft [[cpSurfaceArea##xs:double##geometry]] beschreibt die gesamte Oberfläche des Volumenkörpers. Darum ist dieses Attribut zur Mengenermittlung ungeeignet und eine häufige Fehlerquelle.

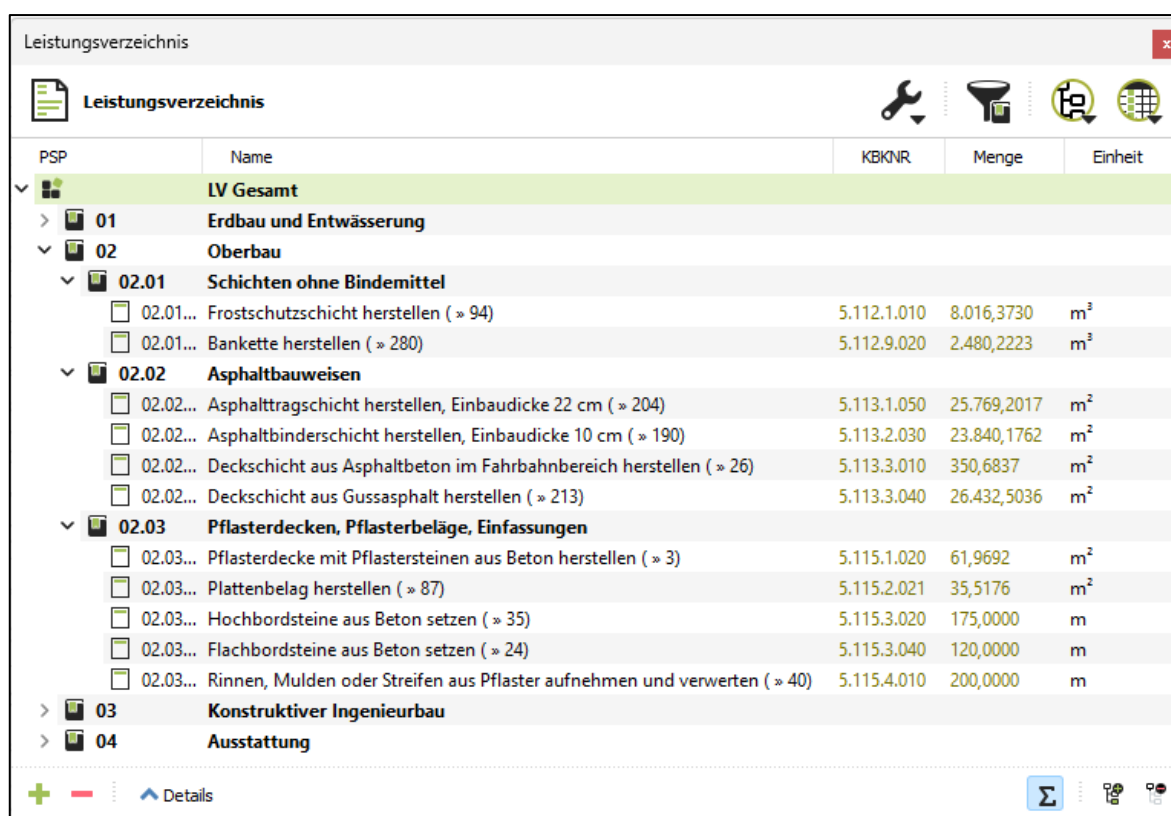
Das Attribut [[cpVolume##xs:double##geometry]] beschreibt hingegen das Volumen eines 3D-Volumenkörper. Wenn das Volumen nicht direkt aus dem Bauteil berechnet werden kann, beispielsweise wenn der Körper nicht vollständig geschlossen,

wird der Wert von einem möglichen anderen definierten Attribut mit dem Namen „Volumen“ verknüpft.

Im abschließenden Schritt werden die Gesamtmengen formelbasiert ermittelt. Hierbei wird in die Spalte „Menge“ („Quantity“) die folgende Formel geschrieben.

$$=SUMLINKED([Mengenattribut]) \quad (5)$$

Die Mengenattribute sind aus Tabelle 6 zu entnehmen.



PSP	Name	KBKNR	Menge	Einheit
✓	LV Gesamt			
>	01 Erdbau und Entwässerung			
✓	02 Oberbau			
✓	02.01 Schichten ohne Bindemittel			
	02.01... Frostschuttschicht herstellen (» 94)	5.112.1.010	8.016,3730	m³
	02.01... Bankette herstellen (» 280)	5.112.9.020	2.480,2223	m³
✓	02.02 Asphaltbauweisen			
	02.02... Asphalttragschicht herstellen, Einbaudicke 22 cm (» 204)	5.113.1.050	25.769,2017	m²
	02.02... Asphaltbinderschicht herstellen, Einbaudicke 10 cm (» 190)	5.113.2.030	23.840,1762	m²
	02.02... Deckschicht aus Asphaltbeton im Fahrbahnbereich herstellen (» 26)	5.113.3.010	350,6837	m²
	02.02... Deckschicht aus Gussasphalt herstellen (» 213)	5.113.3.040	26.432,5036	m²
✓	02.03 Pflasterdecken, Pflasterbeläge, Einfassungen			
	02.03... Pflasterdecke mit Pflastersteinen aus Beton herstellen (» 3)	5.115.1.020	61,9692	m²
	02.03... Plattenbelag herstellen (» 87)	5.115.2.021	35,5176	m²
	02.03... Hochbordsteine aus Beton setzen (» 35)	5.115.3.020	175,0000	m
	02.03... Flachbordsteine aus Beton setzen (» 24)	5.115.3.040	120,0000	m
	02.03... Rinnen, Mulden oder Streifen aus Pflaster aufnehmen und verwerten (» 40)	5.115.4.010	200,0000	m
>	03 Konstruktiver Ingenieurbau			
>	04 Ausstattung			

Bild 65: Abgeschlossene Mengenermittlung (Quelle: eigene Abbildung)

Die Mengenattribute lassen sich durch Klicken auf das Summenzeichen Σ in die gewünschten Mengen übertragen. Damit ist die Mengenermittlung in DESITE BIM abgeschlossen (siehe Bild 65).

Alle Schritte bei der Mengenermittlung sind in der Anlage 10 in einem Ablaufdiagramm aufgeführt.

7.2.2 Kostenermittlung

Für die Herleitung der Kosten ist es erforderlich eine Mengenermittlung nach Abschnitt 7.2.1 durchzuführen. Eine qualitativ hochwertige Mengenermittlung bildet die Grundlage für eine realitätsnahe Kostenermittlung. Die Kostenermittlung erfolgt im selben LV wie die Mengenermittlung. Es müssen lediglich Spalten ergänzt werden.

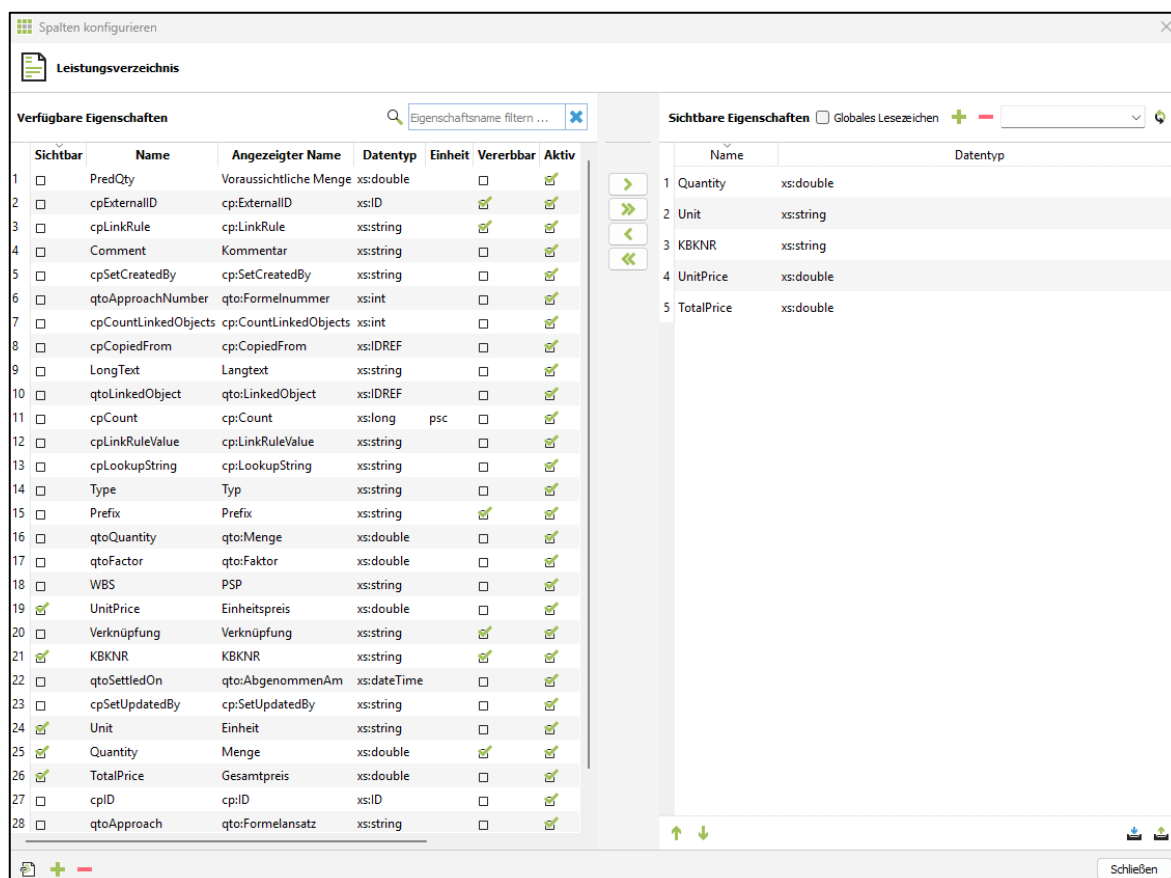


Bild 66: Eigenschaften EP und GP (Quelle: eigene Abbildung)

Um die Kostenermittlung durchzuführen, benötigt man die Eigenschaften „Unit-Price“ (Einheitspreis) und „TotalPrice“ (Gesamtpreis). Diese müssen von den verfügbaren LV-Eigenschaften in die sichtbaren LV-Eigenschaften übertragen werden (siehe Bild 66). Als nächsten Schritt werden die Einheitspreise (EP) aus der AKVS übertragen, sofern sie noch nicht im importierten LV enthalten sind. Der Gesamtpreis (GP) wird danach automatisch aus den Mengen mit folgender Formel ermittelt:

$$GP = \text{Menge} \times EP \quad (6)$$

Für IBW, wie z.B. Bücken, Lärmschutzwände, werden die Kosten pauschal ermittelt. Das heißt eine Brücke bekommt die Menge 1 und der EP setzt sich aus den Gesamtkosten des IBW zusammen.

Abschließend muss in der obersten Zeile bei „LV-Gesamt“ die Funktion „=SUM()“ geschrieben werden, damit die Kosten der einzelnen Positionen addiert und die Gesamtkosten der Baumaßnahme ermittelt werden.

Leistungsverzeichnis						
PSP	Name	KBK/NR	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
✓	LV Gesamt					28.132.285,8474
✓	01 Erdbau und Entwässerung					
✓	01.01 Erdbau					
	01.01... Oberboden abtragen, lagern und Oberbodenmiete unterhalten (» 94)	4.106.1.010	15.046,9006	m³	2,9000	43.636,0116
	01.01... Unbrauchbaren (gefährlichen) Boden lösen und abfahren (» 59)	4.106.2.030	771,2316	m³	10,1000	7.789,4387
	01.01... Baustoff liefern und einbauen (» 170)	4.106.2.091	340.354,6050	m³	10,8000	3.675.829,7345
✓	01.02 Entwässerung					
	01.02... Mulde unbefestigt herstellen (» 186)	4.106.5.020	2.054,3942	m	4,9000	10.066,5318
✓	01.03 Baugruben, Leitungsgräben, Verbau					
	01.03... Leitungsgraben herstellen (» 94)	4.108.2.010	94,5240	m³	26,0000	2.457,6240
✓	02 Oberbau					
✓	02.01 Schichten ohne Bindemittel					
	02.01... Frostschuttschicht herstellen (» 94)	5.112.1.010	8.016,3730	m³	23,8000	190.789,6776
	02.01... Bankette herstellen (» 280)	5.112.9.020	2.480,2223	m³	22,6000	56.053,0244
✓	02.02 Asphaltbauweisen					
	02.02... Asphalttragschicht herstellen, Einbaudicke 22 cm (» 204)	5.113.1.050	25.998,0134	m²	22,0000	571.956,2946
	02.02... Asphaltbinderschicht herstellen, Einbaudicke 10 cm (» 190)	5.113.2.030	23.964,4413	m²	17,0000	407.395,5021
	02.02... Deckschicht aus Asphaltbeton im Fahrbahnbereich herstellen (» 26)	5.113.3.010	334,1241	m²	9,4000	3.140,7664
	02.02... Deckschicht aus Gussasphalt herstellen (» 213)	5.113.3.040	26.489,5228	m²	24,4000	646.344,3555
✓	02.03 Pflasterdecken, Pflasterbeläge, Einfassungen					
	02.03... Pflasterdecke mit Pflastersteinen aus Beton herstellen (» 3)	5.115.1.020	60,6476	m²	25,5000	1.546,5151
	02.03... Plattenbelag herstellen (» 87)	5.115.2.021	37,9825	m²	47,3000	1.796,5712
	02.03... Hochbordsteine aus Beton setzen (» 35)	5.115.3.020	175,0000	m	29,8000	5.215,0000
	02.03... Flachbordsteine aus Beton setzen (» 24)	5.115.3.040	120,0000	m	34,6000	4.152,0000
	02.03... Rinnen, Mulden oder Streifen aus Pflaster aufnehmen und verwerten (» 40)	5.115.4.010	200,0000	m	6,6000	1.320,0000
✓	03 Konstruktiver Ingenieurbau					
✓	03.01 Brücken					
	03.01... BW 04 (» 860)	6.100.1.010	1,0000	psch	4.000.000,0000	4.000.000,0000
	03.01... BW 05 (» 860)	6.100.1.010	1,0000	psch	15.000.000,0000	15.000.000,0000
✓	03.02 Lärmschutzwand					
	03.02... KSW 01 (» 1168)	6.300.2.010	1,0000	psch	178.967,6000	178.967,6000
	03.02... KSW 02 (» 1168)	6.300.2.010	1,0000	psch	178.967,6000	178.967,6000
	03.02... KSW 03 (» 1168)	6.300.2.010	1,0000	psch	540.522,3000	540.522,3000
	03.02... KSW 04 (» 1168)	6.300.2.010	1,0000	psch	540.522,3000	540.522,3000
✓	03.03 Sonstige Bauwerke					
	03.03... Durchlass (» 30)	6.400.1.010	2,0000	psch	1.000.000,0000	2.000.000,0000
✓	04 Ausstattung					
	04...0001 Geländer herstellen und Lieferung (» 103)	8.128.2.040	550,0000	m	62,5000	34.375,0000
	04...0002 Schutzeinrichtung herstellen, Stahl, Aufhaltstufe H2 (» 4)	8.129.1.020	420,0000	m	70,1000	29.442,0000

Bild 67: LV-Gesamt (Quelle: eigene Abbildung)

Bild 67 zeigt das vollständige Leistungsverzeichnis mit den zugehörigen Mengen und Kosten. Für die IBW wurden pauschale Kosten veranschlagt. Diese ergeben sich aus den Erfahrungen des Autors und des Ingenieurbüros. Für das BW 04 wurden 4 Millionen Euro und für das BW 05 15 Millionen Euro veranschlagt. Die Durchlässe kosten jeweils zwei Millionen Euro. Insgesamt betragen die Gesamtkosten 28.132.285,85 Euro und können als eine grobe Schätzung für die weitere Planung verwendet werden.

Alle Schritte bei der Kostenermittlung sind in der Anlage 10 in einem Ablaufdiagramm aufgeführt.

8 Ausblick

Die Ansätze zur strukturierten Attribuierung und automatisierten Auswertung von BIM-Modellen, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, zeigen, wie man den Verkehrsanlagenbau effizienter gestalten kann. Es wird jedoch offensichtlich, dass die praktische Anwendung dieser Methoden momentan noch Einschränkungen hat.

Eine große Herausforderung besteht in der fehlenden Standardisierung der Attributanforderungen. Erste Grundlagen wurden mit Initiativen wie dem BIM-Masterplan des Bundes geschaffen, doch die konkrete Festlegung der Attribute erfolgt in der Praxis oft projektspezifisch. Das hat zur Folge, dass Lösungen, wie der in dieser Arbeit vorgestellte Attribuierungsansatz, nur begrenzt übertragbar sind und jeweils Anpassungen benötigen.

Die DEGES GmbH treibt die Entwicklung von BIM in Deutschland wesentlich und ist der größte Auftraggeber von BIM-Projekten im Bereich von Verkehrsanlagen. Ab 2026 wechselt die DEGES von individueller Projektabstimmung auf das Informationsmanagementsystem BIMQ von AEC3. Es ermöglicht eine zentrale Verwaltung, Strukturierung und Nutzung von BIM-Daten. Somit soll Transparenz geschaffen und Prozesse verschlankt werden. Für Ingenieurbüros bietet BIMQ zahlreiche Vorteile. Als zentrale Datenumgebung bietet sie allen Projektbeteiligten eine einheitliche und stets aktuelle Informationsquelle. Die Plattform ist direkt mit gängigen BIM-Programmen verbunden. Dadurch sind ein direkter Austausch und eine direkte Synchronisierung von Daten zwischen den Systemen möglich. Darüber hinaus erlaubt sie die direkte Übernahme von Informationsanforderungen aus den AIA oder dem BAP in die BIM-Software. Ein zentrales Attributmanagement sorgt dafür, dass alle wichtigen Informationen konsistent und aktuell sind. Ein weiterer Vorteil ist das einheitliche IFC-Mapping über verschiedene Softwarelösungen hinweg, wodurch sich die Interoperabilität verbessert. Zur Sicherstellung der Qualität können BIM-Prüfregeln heruntergeladen werden, die in DESITE verfügbar sind. Damit entfällt die händische Erstellung der regelbasierten Modellprüfregeln. Zwar bietet BIMQ eine Vielzahl von Funktionen, die die Zusammenarbeit mit den Auftraggebern erleichtern, bis eine vollständige Implementierung der Anforderungen der DEGES in das Informationsmanagementsystem erfolgt ist, wird es allerdings noch dauern. Zum aktuellen Zeitpunkt erfolgt ein ständiger Austausch zwischen der DEGES und den Ingenieurbüros, um den BIM-Prozess sukzessive zu verbessern.

Auch die verwendeten Softwarelösungen haben ihre Grenzen. Obwohl Programme wie card_1 und DESITE BIM bereits viele Funktionen zur Modellierung und Auswertung bieten, ist der Automatisierungsgrad in der Praxis noch stark von dem individuellen Know-how des Anwenders abhängig.

9 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird klar erkennbar, dass die übliche Vorgehensweise bei der Attribuierung und Bewertung von Modellen für Verkehrsanlagen im Kontext von Building Information Modeling (BIM) nach wie vor signifikante Effizienzprobleme aufweist. Insbesondere die manuelle Zuordnung stellt einen zeitintensiven Prozess dar, der anfällig für Fehler ist und somit langfristig die Wettbewerbsfähigkeit von Ingenieurbüros schädigt. Vor dem Hintergrund der steigenden Anforderungen an die Einhaltung von Fristen und Kosten im Infrastrukturbau wird die Notwendigkeit zur Optimierung von Arbeitsmethoden deutlich.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass eine nachhaltige Steigerung der Effizienz insbesondere durch die Kombination von strukturierten Modellhierarchien, einheitlichen Attributstandards und automatisierten Prozessen erzielt werden kann. Der Einsatz von Vererbungsmechanismen in der Modellstruktur verringert den manuellen Aufwand signifikant und steigert außerdem die Konsistenz der Daten. Zusätzlich ermöglichen standardisierte Property Sets sowie die eindeutigen Vorgaben aus AIA und BAP eine konsistente und nachvollziehbare Datenbasis.

Ein weiterer bedeutender Faktor für den Erfolg ist die zunehmende Automatisierung von Arbeitsabläufen, beispielsweise durch regelbasierte Modellprüfungen oder skriptgestützte Attributionsmethoden. Sie reduzieren nicht nur den zeitlichen Aufwand, sondern steigern ebenfalls die Qualität und Zuverlässigkeit der Modellinformationen. Damit wird die Grundlage gelegt, um BIM-Modelle effizient für weiterführende Anwendungen wie die Planung von Bauabläufen sowie die Ermittlung von Mengen und Kosten einzusetzen.

Die Untersuchung der Fallstudien zeigt, dass die Potenziale der BIM-Methodik bereits mit den gegenwärtigen Werkzeugen realisiert werden können, sofern die Arbeitsabläufe entsprechend modifiziert werden. Es wird jedoch offensichtlich, dass die erreichten Effizienzsteigerungen stark von der verwendeten Software, den spezifischen Anforderungen des Projekts sowie dem organisatorischen Kontext abhängen. Es existiert keine universelle Lösung; vielmehr müssen die erarbeiteten Konzepte individuell angepasst und kontinuierlich optimiert werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die effiziente Zuordnung und Beurteilung von BIM-Modellen eine wesentliche Voraussetzung für die Digitalisierung im Bereich des Verkehrswegebauwerks darstellt. Die in dieser Arbeit entwickelten

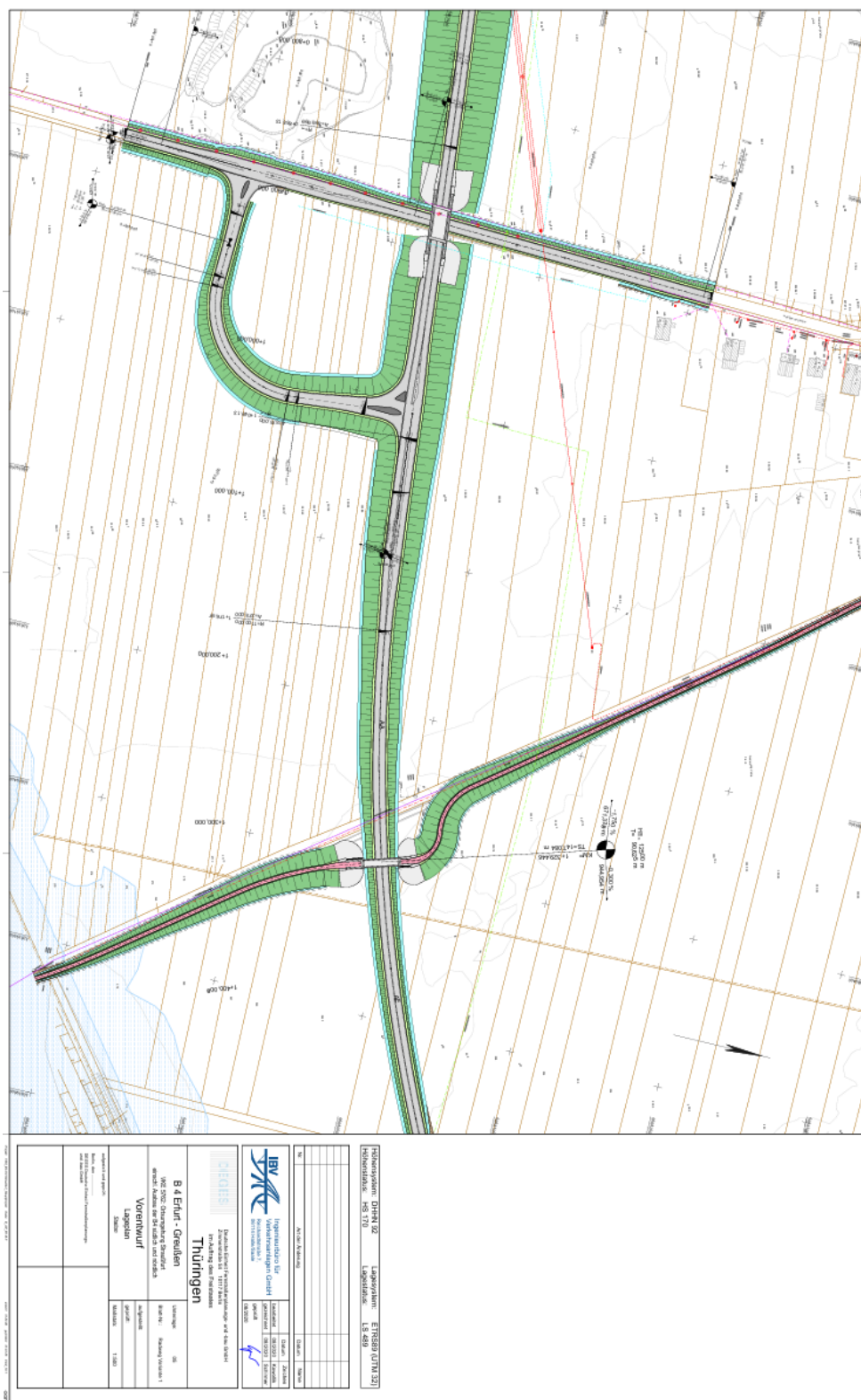
Lösungsansätze stellen einen bedeutenden Fortschritt zur Optimierung der aktuellen Prozesse dar; sie verdeutlichen anwendungsorientierte Methoden, um den Zeitaufwand zu minimieren und die Datenqualität zu steigern.

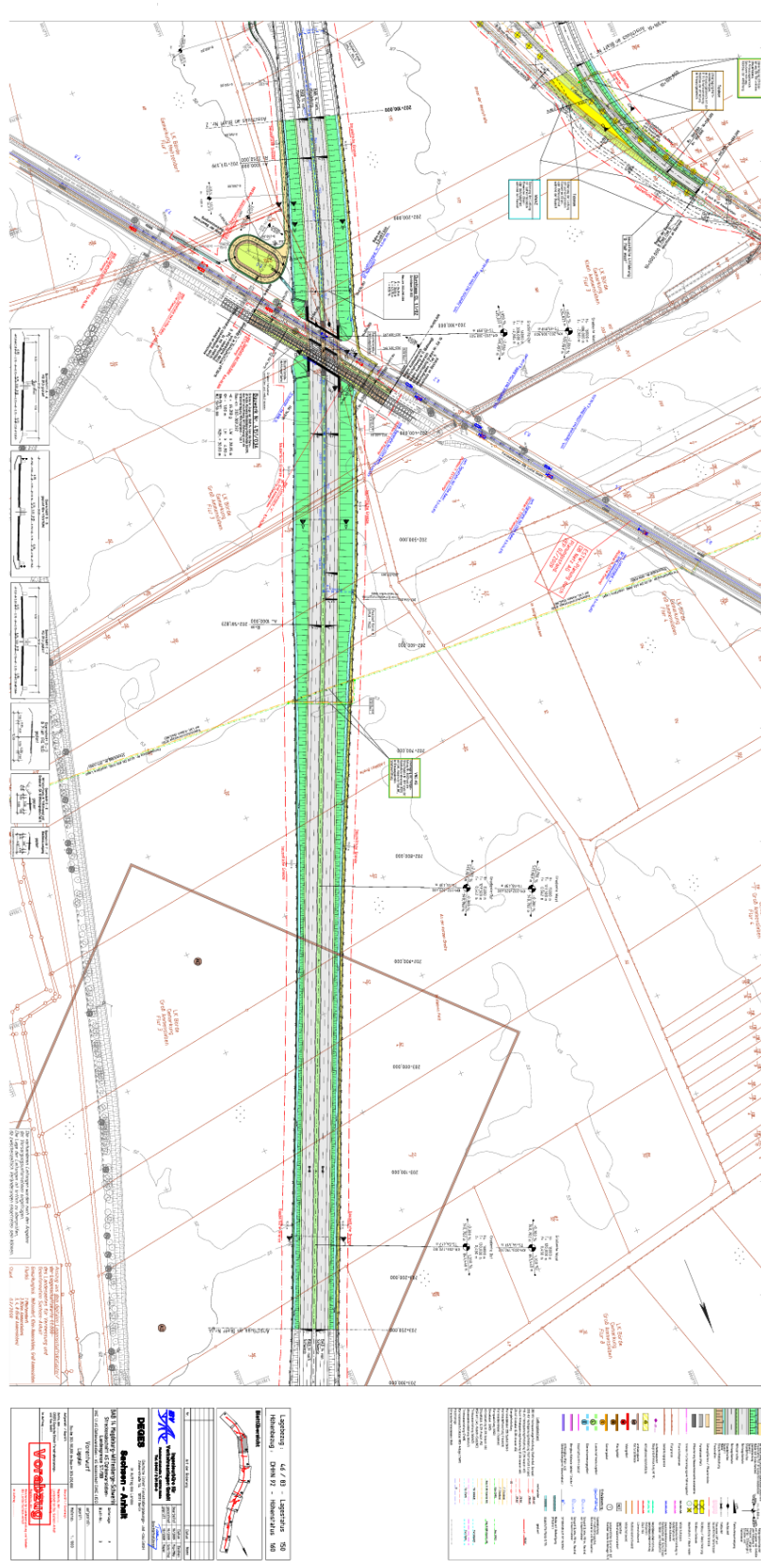
Es ist klar, dass neben der fortschreitenden Entwicklung technischer Lösungen insbesondere die Standardisierung von Abläufen sowie die Schulung aller Beteiligten von zentraler Bedeutung sind, um die BIM-Methodik umfassend und erfolgreich einzuführen. Das gesamte Potenzial von BIM im Bereich des Infrastrukturbauwes kann lediglich durch eine Synergie von Technologie, Methodik und Organisation vollständig entfaltet werden.

10 Literatur

- [1] *Püstow, M.; May, I.; Peitsch, D.*: Reformkommission Bau von Großprojekten – Komplexität beherrschen-kostengerecht, termintreu und effizient. Endbericht. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Ausgabe 2015.
- [2] *Borrmann, A.; König, M.; Koch, C. et al. (Hrsg.)*: Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Springer eBook Collection, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021.
- [3] *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*: BIM4INFRA2020 – Teil 1 - Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Ausgabe 2019.
- [4] *Bundesfinanzministerium*: Produktivität in Deutschland – Messbarkeit und Entwicklung. Bundesfinanzministerium, 2017, <https://www.bundesfinanzministerium.de/Monatsberichte/2017/10/Inhalte/Kapitel-3-Analysen/3-1-Produktivitaetsentwicklung-Deutschland.html>.
- [5] *Meister, A.; Scholz, F.; Banemann, S.*: Masterplan BIM Bundesfernstraßen – Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betreibens im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM) Ausgabe 2021.
- [6] *Astour, H.; Strotmann, H.*: Lehrbuch Grundlagen der BIM-Arbeitsmethode – Fragen Übungen Fallbeispiele, erfolgreich studieren, Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg, Wiesbaden, 2022.
- [7] *Verein Deutscher Ingenieure*: VDI 2552 Blatt 10, Building Information Modeling - Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungspläne (BAP) – = Building information modeling - Employers information requirements (EIR) and BIM execution plan (BEP). Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2020.
- [8] *Verein Deutscher Ingenieure*: VDI 2552 Blatt 7, Building Information Modeling - Prozesse – = Building information modeling - processes. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2020.
- [9] *Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg*: BIM-Leitfaden 2.0. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg Ausgabe 2025.

-
- [10] *Fischer, K.; Fischer, F.*: BIM mit Archicad® – Das IFC-Modell als Grundlage einer softwareübergreifenden Zusammenarbeit. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2025.
- [11] *Verein Deutscher Ingenieure*: VDI 2552 Blatt 4, Building Information Modeling - Anforderungen an den Datenaustausch – = Building information modeling - Requirements for data exchange. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2020.
- [12] *Kuczora, V.*: Straßenentwurf mit CARD1 – Grundlagen, SpringerLink Bücher, Springer Science and Business Media [Place of publication not identified], 2015.
- [13] *IB&T*: Anwendung von card_1 in der Straßenplanung, 2026, <https://www.card-1.com/produkt/anwendungen/strassenplanung> [Zugriff am: 11.04.2026].
- [14] *thinkproject*: Interaktives Informations-, Qualitäts- und Projektmanagement für Building Information Modelling, https://www.card-1.com/fileadmin/files/Download/DE_22_DESITE_BIM_brochure.pdf [Zugriff am: 04.04.2026].
- [15] *thinkproject*: DESITE User Manuel, https://help.thinkproject.com/public/de/Content/Resources/Downloads/DESITE%20User%20Documentation_3.4.pdf [Zugriff am: 04.04.2026].
- [16] *BIM Hamburg*: AwF 120, Terminplanung der Ausführung, V001 Ausgabe 2024.
- [17] *Stadt Hamburg*: BIM-Anwendungsfälle, 2026, <https://bim.hamburg.de/bim-anwendungsfaelle-612208> [Zugriff am: 18.02.2026].
- [18] *BIM Hamburg*: AwF 100, Mengen- und Kostenermittlung, V002 Ausgabe 2024.







Anlage 5

Attribute des Property Sets „Klassifizierung“:

Attribut
Objektgruppe
Objektklasse
Objekttyp

Anlage 6

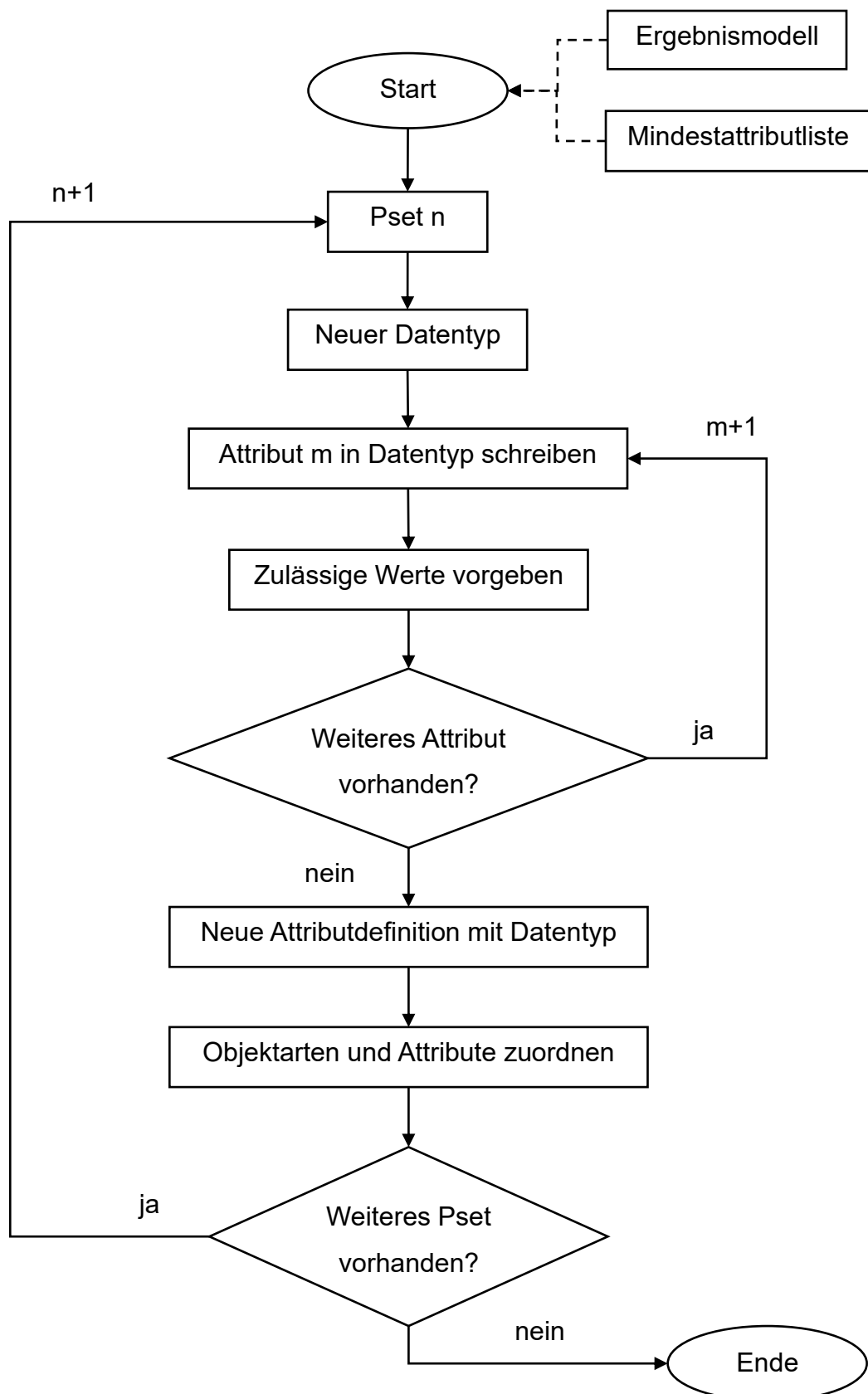
Attribute des Property Sets „Bauteilinformation Strasse“

Attribut
LOG
LOI
Material
Art der Baumassnahme
Quelle/Herkunft der Daten
Bauphase
Bemerkung
Herstellungsjahr
Spezifikation
Betriebskilometer
von Betriebskilometer
bis Betriebskilometer
Lichtpunkthoehe
Lieferbedingungen
Abdeckung
Farbe RAL
Groesse
Holzart
Gehoelzart
Bindemittel
Rahmenbespannung
Einbau
Einbauform
Einbauort
Nenngroesse
Nennleistung
Bodenart
Bodenklasse
Belastungsklasse

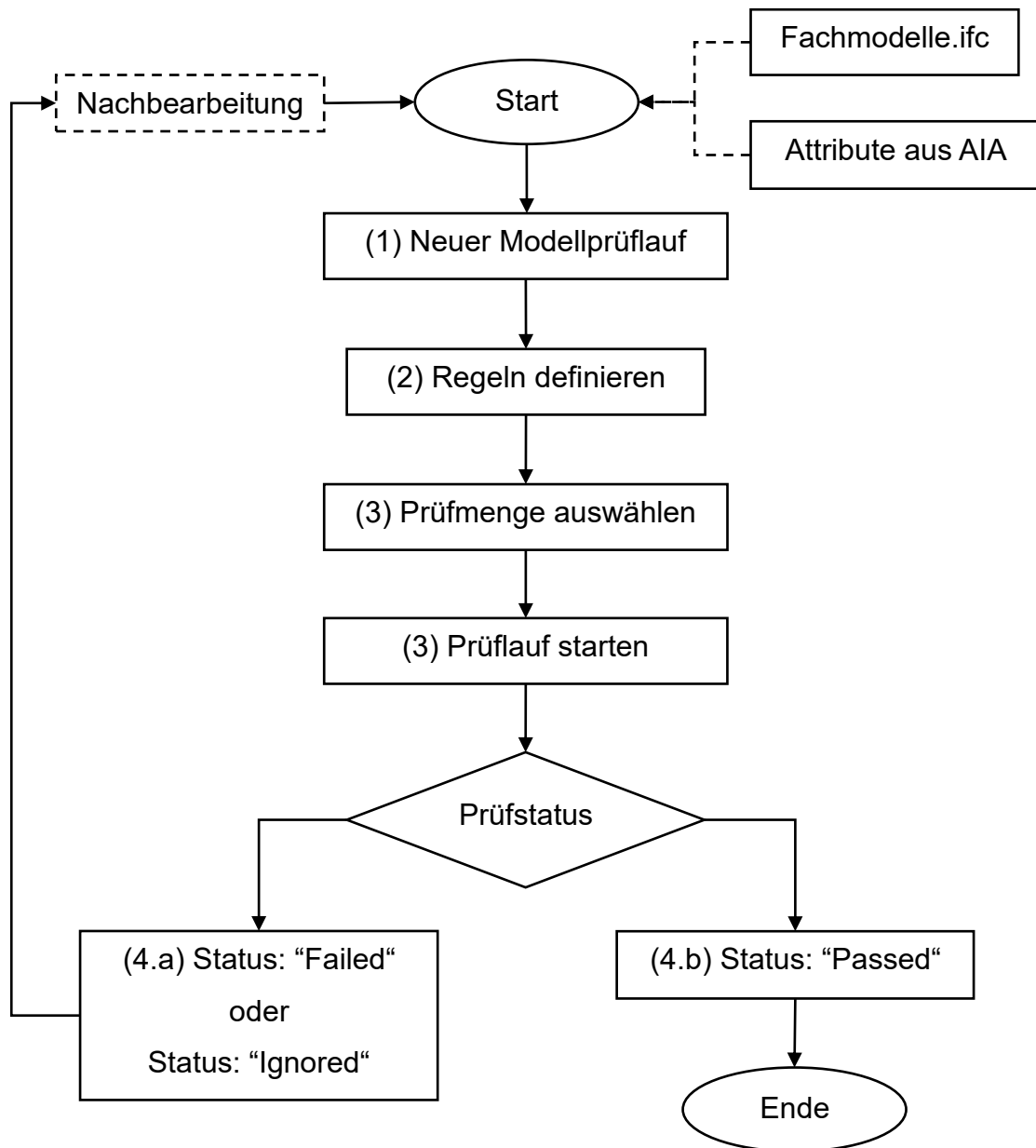
Sockel
Einbindetiefe
Sitzrost
Bettung
Korngroesse
Doppeladern auflegen
Foerderdurchfluss
Foerderhoehe
Aufhaltestufe
Drahtdurchmesser
Korrosionsschutz
Innendurchmesser
Verfuellung
Rastermass
Verlegeform
Vorsatzschicht
Fase
Robustheitsklasse
Vliesstoff Dicke
Richtzeichnungsnummer
Fugenflanke
Masse
Einzellaengen
Gesamtdehnweg
Einbindetiefe
Retrorefl Typenklasse
Retroreflektoren
Maschenweite
Seilabstand
Zeichen
Befestigung
Kategorie
Verdichtungsgrad

Verkehrsflaeche
Baustoffgemisch aus
Anprallheftigkeitsstufe
Anprallklasse
Verschiebungsklasse
Zurueckleitungsbereich
Verformungsmodul

Anlage 7



Anlage 8

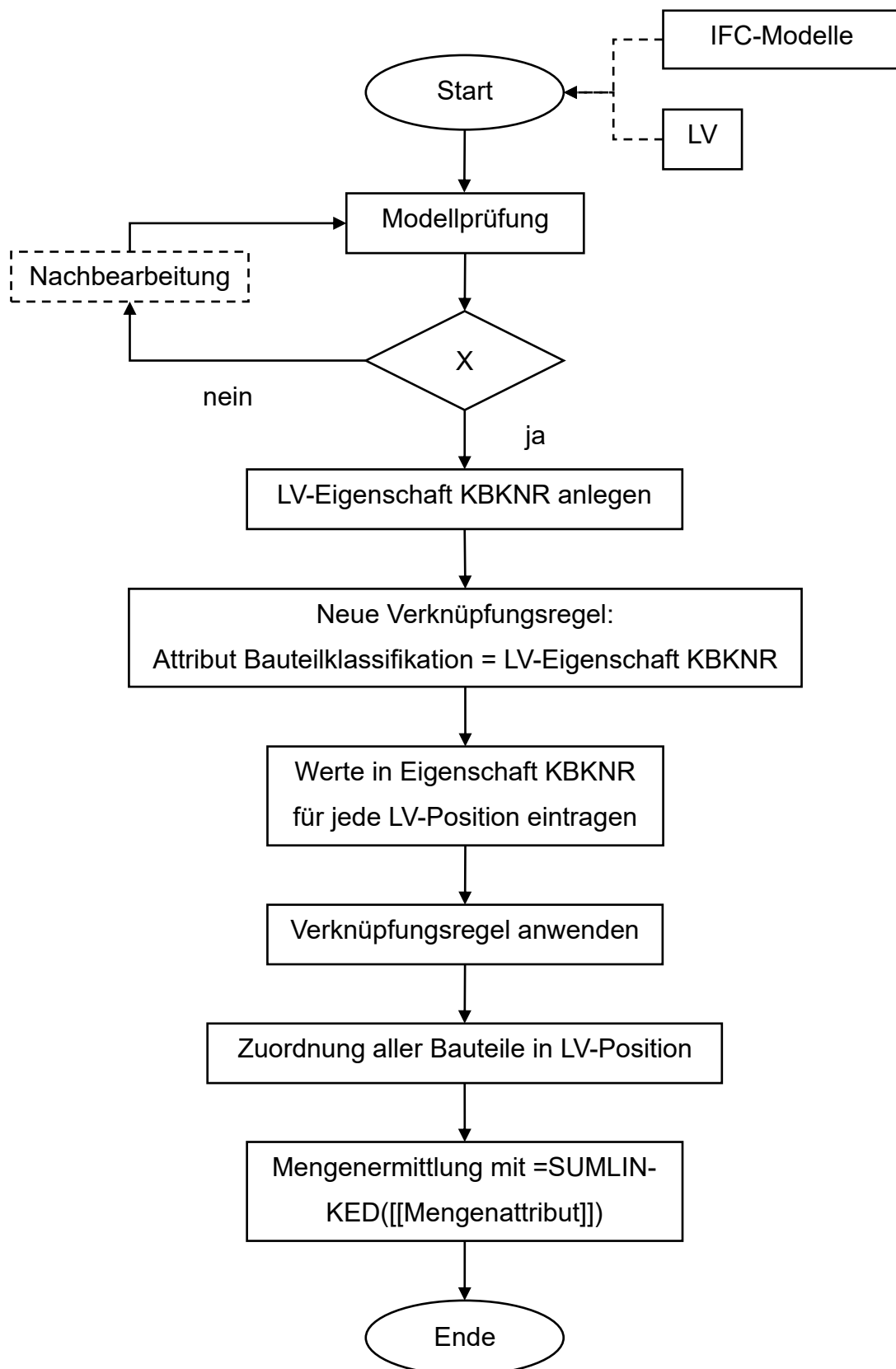


Anlage 9

Der in MS Project erstellte Terminplan wird als separate Datei angehängen.

Nr.		Vorg/Vorgangsname	Dauer	Anfang	Ende	Vorgänger
1		 Bauablauf	593 Tage	Mit 18.03.26	Fre 23.06.28	
2		Bauphase 1	182 Tage	Mit 18.03.26	Don 26.11.26	
3		Oberbodenabtrag	20 Tage	Mit 18.03.26	Die 14.04.26	
4		BW04A	100 Tage	Mit 15.04.26	Die 01.09.26	
5		Sauberkeitsschicht	1 Tag	Mit 15.04.26	Mit 15.04.26	3
6		Fundament BW04	11 Tage	Don 16.04.26	Don 30.04.26	5
7		Widerlager BW04	46 Tage	Fre 01.05.26	Fre 03.07.26	6
8		Überbau BW04	42 Tage	Mon 06.07.26	Die 01.09.26	7
9		BW05A	162 Tage	Mit 15.04.26	Don 26.11.26	
10		Fundament BW05	92 Tage	Mit 15.04.26	Don 20.08.26	3
11		Widerlager BW05	70 Tage	Fre 21.08.26	Don 26.11.26	10
12		ABW01	5 Tage	Mit 15.04.26	Die 21.04.26	
13		 Durchlass	5 Tage	Mit 15.04.26	Die 21.04.26	3
14		ABW02	5 Tage	Mit 15.04.26	Die 21.04.26	
15		 Durchlass	5 Tage	Mit 15.04.26	Die 21.04.26	3
16		Bauphase 2	233 Tage	Fre 27.11.26	Die 19.10.27	2
17		Abtrag	3 Tage	Fre 27.11.26	Die 01.12.26	2
18		Auftrag	155 Tage	Mit 02.12.26	Die 06.07.27	17
19		Hinterfüllung	10 Tage	Mit 02.12.26	Die 15.12.26	17
20		Überbau BW05	75 Tage	Mit 07.07.27	Die 19.10.27	18
21		Mulde_links	10 Tage	Mit 02.12.26	Die 15.12.26	17
22		Mulde_rechts	10 Tage	Mit 02.12.26	Die 15.12.26	17
23		Böschung	5 Tage	Mit 16.12.26	Die 22.12.26	19
24		Bauphase 3	145 Tage	Mit 20.10.27	Die 09.05.28	16
25		Sickerleitung	7 Tage	Mit 20.10.27	Don 28.10.27	16
26		Frostschuttschicht	21 Tage	Fre 29.10.27	Fre 26.11.27	25
27		Tragschicht rechts	52 Tage	Mon 29.11.27	Die 08.02.28	26
28		Tragschicht links	52 Tage	Mon 29.11.27	Die 08.02.28	26
29		Binderschicht rechts	21 Tage	Mit 09.02.28	Mit 08.03.28	27
30		Binderschicht links	21 Tage	Mit 09.02.28	Mit 08.03.28	28
31		Deckschicht rechts	30 Tage	Don 09.03.28	Mit 19.04.28	29
32		Deckschicht links	30 Tage	Don 09.03.28	Mit 19.04.28	30
33		Bankett rechts	14 Tage	Don 20.04.28	Die 09.05.28	31
34		Bankett links	14 Tage	Don 20.04.28	Die 09.05.28	32

Anlage 10



Anlage 11

