



Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

Modellbasierte Bauablaufsimulation an einem BIM- Beispielprojekt

Masterthesis

für den Master of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor: Shaoyilei Zhang

Matrikelnummer:



1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

2. Betreuer: Simon Vilgertshofer

Externer: Christian Peetz (Landesbaudirektion Bayern)

Ausgabedatum: 01. Dezember 2021

Abgabedatum: 31. Mai 2022

Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. André Borrmann dafür danken, dass er mich auf dem Fachgebiet BIM inspiriert hat, und ein großes Dankeschön an ihn und Herrn Simon Vilgertshofer vom Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation für die Betreuung meiner Arbeit.

Gleichzeitig möchte ich mich bei Herrn Christian Peetz dafür bedanken, dass er mir die Gelegenheit gegeben hat, meine Masterarbeit bei LBD zu schreiben. Dank an Herrn Christian Peetz und Herrn Daniel Schwarz für die ständige Unterstützung und die vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Sergius Jaufmann und Herrn Benjamin Piel für die professionelle Beratung bedanken. Ebenso Dank an Frau Elena Merk und Herrn Dominik Dürr vom Staatlichen Bauamt Ingolstadt für die Zusammenarbeit.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Eltern für die kontinuierliche Unterstützung über all die Jahre hinweg bedanken. Ohne ihre Liebe und Begleitung wäre ich nicht so weit gekommen. 我爱你们。

Abstract

This Master Thesis brings an insight into the application of Building Information Modeling (BIM), especially 4D-method, in infrastructure construction projects. 4D-method represents the linking of construction time information to the existing 3D-model, which contributes a model-based construction simulation that will optimize the construction schedule in the early design phase and bring benefits to the construction phase. The process of 4D-method, especially three specific ways of linking, will be presented and evaluated. An example pilot project "B299, Umbau der „Brandkeuzung in Beilngries in einen Kreis-verkehr" using the method will be introduced, which involves creating a construction scheduling plan and linking the construction scheduling plan to the 3D-model. Problems and difficulties during the implementation will be evaluated and possible suggestions for future application will be given. Although the implementation of BIM in infrastructure construction projects, especially BIM 4D, is still under development, the existing studies and practical application shows great advantage and potential. With more development, BIM 4D will bring its full potential in construction planning and management.

Zusammenfassung

Diese Masterarbeit gibt einen Einblick in die Anwendung von Building Information Modeling (BIM), insbesondere in die 4D-Methode, bei Infrastrukturbauprojekten. Die 4D-Methode stellt die Verknüpfung von Bauzeitinformationen mit dem bestehenden 3D-Modell dar. Der Bauablauf kann dadurch simuliert und visualisiert werden, wodurch dieser bereits in frühen Planungsphasen optimiert werden kann. In dieser Arbeit wird der Prozess der 4D-Methode und drei spezifische Möglichkeiten der Verknüpfung von Modellelementen mit Bauzeitpläne vorgestellt und bewertet. Als Beispiel, wie mit der Methode gearbeitet werden kann, wird das Pilotprojekt „B299, Umbau der Brandkreuzung in Beilngries in einem Kreis-verkehr“ vorgestellt, bei dem ein Bauablaufplan erstellt und mit dem 3D-Modell verknüpft wird. Dabei werden auftretende Probleme und Schwierigkeiten bei der Umsetzung bewertet und mögliche Vorschläge für die zukünftige Anwendung gegeben. Obwohl sich die Implementierung von BIM in Infrastrukturbauprojekten, insbesondere BIM 4D, noch in der Entwicklung befindet, zeigen die vorhandenen Studien und praktischen Anwendungen große Vorteile und Potenziale. Bei weiterer Entwicklung wird BIM 4D sein enormes Potenzial in der Bauablaufplanung, Bauausführung und Bauüberwachung entfalten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII	
Tabellenverzeichnis	X	
Abkürzungsverzeichnis	XI	
1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Ziel der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Building Information Modeling	3
2.1	Theoretische Grundlagen	3
2.1.1	BIM-Modell.....	4
2.1.2	BIM-Prozess	5
2.1.3	BIM 4D.....	7
2.1.4	Datenaustauschformat.....	7
2.2	Status Quo in Deutschland	7
2.2.1	BMVI Stufenplan	8
2.2.2	BIM4INFRA2020.....	8
2.2.3	BIM4RAIL	9
2.2.4	BIM Deutschland.....	9
2.2.5	Masterplan BIM Bundesfernstraßen	10
2.2.6	Zentralstelle BIM Straßenbau bei der Landesbaudirektion	11
3	Bauablaufplanung und Terminplanung	12
3.1	Bauablaufplanung	13
3.1.1	Grundelemente	13
3.2	Terminplanung	14
3.2.1	Darstellungsformen.....	14
3.3	Detaillierungsgrad von Terminplanungen	15
3.4	Modellbasierte Bauablaufplanung.....	16
3.5	Stand der Technik und Forschungslücke.....	17

4	Prozessplanung des BIM 4D Modells	20
4.1	Allgemeine BIM 4D Prozess	20
4.1.1	Software.....	21
4.1.2	Zu berücksichtigende Aspekte	22
4.2	Arten der Erstellung des 4D-Modells	23
4.2.1	Verknüpfung von Terminplanung und 3D-Modell.....	23
4.2.2	Automatisierte Erstellung der Terminplanung	24
4.3	Simulieren und Exportieren.....	25
4.4	Vorteile und Herausforderungen der 4D Bauablaufsimulation	25
4.5	Dokumentation und Analyse der Bauablaufplanung beim StBA Ingolstadt 26	
5	Beispielprojekt: B 299, Umbau der „Brandkreuzung in Beilngries in einen Kreisverkehr“	28
5.1	Projektübersicht	28
5.2	BAP.....	29
5.3	Aufgabestellung	32
5.4	Problematik.....	32
5.5	Prozess.....	33
5.5.1	Vorbereitung des Gesamtkoordinationsmodells	34
5.5.2	Einteilung der Verkehrsanlagen in <i>Desite MD</i>	35
5.5.3	Erstellen des Bauzeitenplans in MS Project	40
5.5.4	Verknüpfung der Vorgänge mit den Objekten.....	43
5.5.5	Visualisierung und Simulation.....	46
5.6	Zusammenfassung	49
6	Fazit und Ausblick	52
	Literaturverzeichnis	53
	Anhang A	58
	Anhang B	59
	Anhang C	60
	Anhang D	61

Anhang E	63
Anhang F	64
Anhang G	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Abhängigkeit der Kostenbeeinflussung und der Änderungskosten im Planungsverlauf (Hausknecht and Liebich 2016, p. 53)	3
Abbildung 2	BIM Prozess und Aufgabe (Diederichs and Malkwitz 2020, p. 370, 2020, p. 370)	7
Abbildung 3	Stufenplan (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015)	8
Abbildung 4	Phasenmodell der BIM-Implementierungsstrategie (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021)	10
Abbildung 5	Magisches Dreieck	12
Abbildung 6	Anordnungsbeziehungen	13
Abbildung 7	Beispiel eines reinen Balkendiagramms	15
Abbildung 8	Beispiel eines vernetzten Balkendiagramms	15
Abbildung 9	Drei Stufen der Terminplanung	16
Abbildung 10	Objektteilung und Objektzusammenfügen (Tulke 2010)	22
Abbildung 11	Lageplan des Bauvorhabens (Google Maps)	28
Abbildung 12	Arbeitsschritte (B299_BAP-V2_3).....	30
Abbildung 13	Prozessdiagramm	33
Abbildung 14	Teilmodelle im CDE Squirrel.....	34
Abbildung 15	Anwendungsmenü von Desite MD.....	35
Abbildung 16	Funktion „Teilen“	36
Abbildung 17	Ausgewählte zu zerteilende Objekte.....	36
Abbildung 18	Anfangs- und Endpunkte	37
Abbildung 19	Schnittmodus „vertikal“	37
Abbildung 20	zerteilendes Objekt	38
Abbildung 21	IDs der zerteilenden Objekte	38
Abbildung 22	ID des zusammengefügteten Objektes.....	39
Abbildung 23	Schnittlinie	39
Abbildung 24	grober Bauablauf mit Teilaufgaben und Meilensteinen.....	41

Abbildung 25 detaillierte Bauablaufplan	42
Abbildung 26 Datenformat MS Project (*.mpp) auswählen.....	43
Abbildung 27 Reiter Vorgänge, Fenster Vorgänge	44
Abbildung 28 Projektstrukturplan.....	44
Abbildung 29 Selektierte Objekte den Vorgängen hinzufügen.....	45
Abbildung 30 Verknüpfte Objekte	46
Abbildung 31 Fenster „Visualisierung“	46
Abbildung 32 Konfiguration 4D-Visualisierung.....	47
Abbildung 33 Simulation	48
Abbildung 34 Hinweisfenster	49
Abbildung 35 Simulation exportieren	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Dimensionalität von Modellen (Hausknecht and Liebich 2016, p. 121).....	4
Tabelle 2 BIM-Ziel und BIM-Anwendungsfall (Hausknecht and Liebich 2016, p. 183)	5
Tabelle 3 Beispiele der BIM-Anwendungsfälle (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019b).....	6
Tabelle 4 BIM4INFRA20 Handreichungen.....	9
Tabelle 5 Übersicht der zeitlichen Projektplanung (Zell 2018).....	12
Tabelle 6 Softwarelösungen zur Erstellung von 4D-Modellen	21
Tabelle 7 Definition vom LoG (B299_BAP-V2_3)	31
Tabelle 8 Definition vom LoA (B299_BAP-V2_3)	31
Tabelle 9 Detaillierungsgrad der einzelnen Fachmodellen	31

Abkürzungsverzeichnis

AIA	Auftraggeber-Informationsanforderungen
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
AwF	Anwendungsfall
BAP	BIM Abwicklungsplan
BIM	Building Information Modelling
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BPMN	Business Process Model and Notation
CDE	Common Data Environment
CPM	Critical Path Method
HE	Handlungsempfehlung
IFC	Industry Foundation Class
LOD	Level of Detail (Detailierungsgrad)
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
LV	Leistungsverzeichnis
MPM	Metra Potential Method
MR	Musterrichtlinie

PSP	Projektstrukturplan
TGA	Technischen Gebäudeausrüstung

1 Einleitung

1.1 Einführung

Die Digitalisierung ist im Moment ohne Zweifel einer der größten Treiber für Veränderungen im Arbeitsleben, insbesondere in der Bauindustrie. Eine Studie von PwC umfasst die Digitalisierung der Bauindustrie im Jahr 2020, wobei 72% der Bauunternehmen und 60% der Planer und Projektsteuerer in den nächsten 5 Jahren planen, dafür zu investieren. Die entscheidende davon sind bessere Zusammenarbeit und Kommunikation aller Projektbeteiligten, kürzere Planungs- und Bauzeiten und Reduzierung von Kosten. Die Nutzung von Cloud-Technologie, Virtual Reality, Laserscanning und BIM (Building Information Modelling) bietet das meiste Potenzial. 57% der Bauunternehmen sehen das große Potenzial von BIM, aber nur 16% der Bauunternehmen besitzen nach eigenen Angaben, die dafür benötigten Fähigkeiten. Aus der Sicht des Planers und Projektsteuerers ist das Potenzial und die Fähigkeit von BIM etwas höher, und zwar 73% und 27%.(Rebekka Berbner et al. 2020)

Nach dem Stufenplan vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) begann ab 2020 die Implementierung von BIM-Leistungsniveau 1 für neu zu planende Projekte. Im Zuge der Stufe 1 und 2 setzte die Anwendung von BIM in verschiedenen Pilotprojekten und unterschiedlichen Projektphasen vom Bundesinfrastrukturbaun ein. Außerdem wurden umfangreiche Leitfäden, Handreichungen und Muster entwickelt und veröffentlicht.(Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017) Im September 2021 veröffentlichte das BMVI den „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“, in dem eine weitergehende drei-Phasen-Implementierungsstrategie von BIM in der Autobahn GmbH und den Auftragsverwaltungen der Länder beschrieben wird (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021). Die genaue Umsetzung des Stufenplans und Masterplans wird im Kapitel 2.2 vorgestellt.

Bauunternehmen planen den Einsatz von BIM in den nächsten Jahren in großem Umfang. Mehr als 50% der Unternehmen haben bereits Erfahrungen mit BIM, wobei sie meistens noch in der Planungsphase sind. Die BIM-Experten glauben, dass BIM in den nächsten fünf Jahren große Veränderungen in der Baubranche bringen wird.(Rebekka Berbner et al. 2019)

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Erläuterung der Grundlagen vom BIM 4D Prozessen und die Umsetzung des Prozesses auf das Pilotprojekt in Beilngries, um Erkenntnisse für die künftige Anwendung von BIM 4D bei Infrastrukturprojekten zu gewinnen. Die Grundlagen von BIM und Bauablaufplanung wird erläutert und Stand der Technik sowie Forschungslücke werden recherchiert. Die dazwischen entstehenden Herausforderungen und Vorteile werden am Ende analysiert und es werden dazu Vorschläge für die zukünftige Anwendung gegeben.

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert, und sie gehören zu vier Teilen. Zunächst ist die Einleitung. In diesem Teil wird die Einführung, das Ziel und der Aufbau der Arbeit beschrieben. Dann folgt der theoretische Teil der Arbeit bzw. die Grundlagen von BIM und von der Bauablaufplanung. Danach ist der projektbezogene Teil bzw. der Prozess von BIM 4D und die Anwendung des Prozesses in dem Beispielprojekt. Fazit und Ausblick schließen die Arbeit ab.

Kapitel 2 beinhaltet die theoretischen Grundlagen und das Status Quo von BIM in Deutschland. Kapitel 3 beinhaltet die Grundlagen der Bauablaufplanung, der Terminplanung und die modelbasierte Bauablaufplanung. Dazu wird Stand der Technik und Forschungslücke von BIM 4D vorgestellt.

Im Kapitel 4 werden die Prozesse von BIM 4D vorgestellt. Darüber hinaus werden die Vorteile und Herausforderungen von BIM 4D diskutiert. Schließlich folgt noch die Dokumentation und Analyse der Bauablaufplanung beim staatlichen Bauamt Ingolstadt.

Im Kapitel 5 geht es um die Anwendung des im Kapitel 4 vorgestellten 4D-Prozesses an einem Beispielprojekt in Beilngries. Zunächst wird das Projekt vorgestellt und die Aufgabenstellung und Problematik beschrieben. Dann folgt die Durchführung der Prozesse in dem Projekt. Die von der Beispielprojekt gewinnet Kenntnisse wird schließlich zusammengefasst und es werden einige Verbesserungsvorschläge für die zukünftige Projekte gegeben.

Im Kapitel 6 wird ein Fazit über die Anwendung vom dem BIM 4D Prozess in der Praxis zusammengefasst und ein Ausblick für die zukünftige Entwicklungsmöglichkeit gegeben.

2 Building Information Modeling

2.1 Theoretische Grundlagen

Building Information Modeling (BIM) beschreibt eine Arbeitsmethodik im Bauwesen, die alle relevanten physikalischen und funktionalen Information eines Bauwerks durch den gesamten Lebenszyklus erstellt und verwaltet. (Hausknecht and Liebich 2016, p. 49) Information ist einer der wesentlichen Bestandteile von BIM, wobei es nicht nur um geometrische Daten sondern auch um andere fachliche Daten wie z.B. Mengen, Kosten, Termine geht. Alle relevanten Informationen bilden die Bauwerksmodelle, die fachlich getrennt sind, wie z.B. das Model des Architekten, das Modell der TGA-Planer, Bauablaufmodell, Kostenkalkulationsmodell. Durch die Anwendung von BIM während des gesamten Lebenszyklus des Bauwerks wird bessere Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten hervorgebracht. Außerdem ist es von Vorteil im Zuge des Terminmanagements und Kostenmanagements. Im Vergleich zum konventionellen Planungsprozess, führt die Anwendung von BIM zu einer Verlagerung des Planungsaufwands in frühere Phasen, und damit zu geringeren Änderungskosten im Laufe des Projekts. Abbildung 1 zeigt den unterschiedlichen Planungsaufwand beim traditionellen Fall und bei BIM.

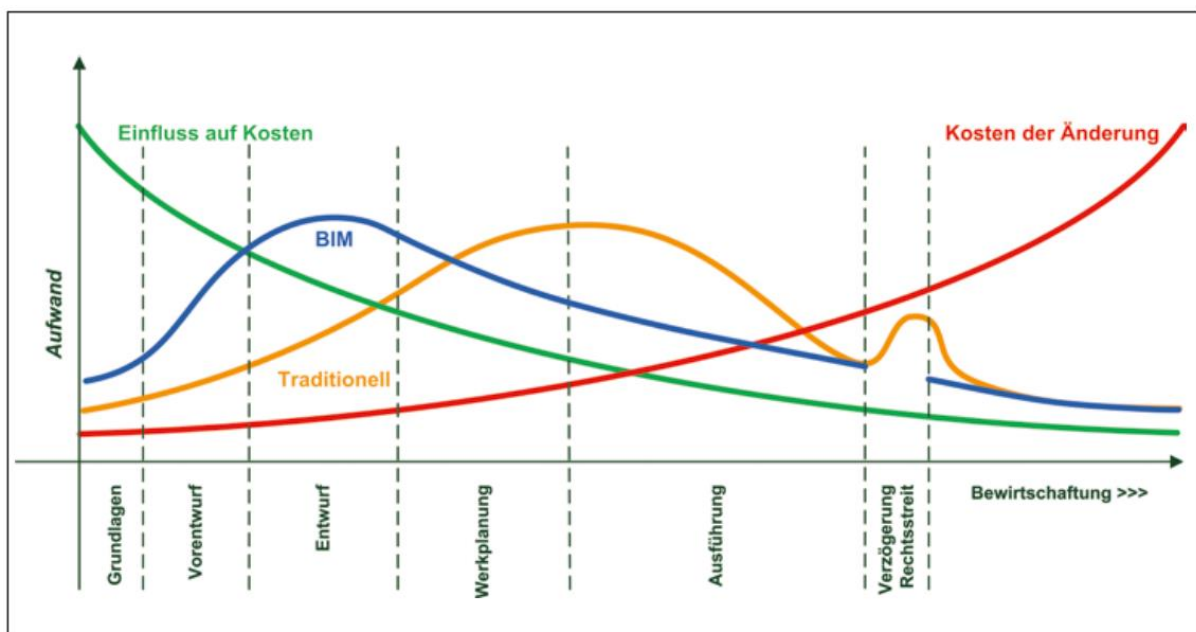


Abbildung 1 Abhängigkeit der Kostenbeeinflussung und der Änderungskosten im Planungsverlauf (Hausknecht and Liebich 2016, p. 53)

BIM verlagert im Vergleich zur traditionellen Methode den Aufwand von der Ausführungsphase in die frühere Entwurfsphase. Das führt zu einer Kostenreduzierung, weil die Kosten der Änderung in der spätere Ausführungsphasen höher als in der frühere Entwurfsphasen sind.

2.1.1 BIM-Modell

Ein BIM-Modell enthält alle relevanten Informationen, die für die Planung, den Bau und den Betrieb eines Gebäudes nötig sind. Die digitale Darstellung der dreidimensionalen Geometrie eines Gebäudes ist daher einer der grundlegendsten Aspekte von BIM. (Borrmann et al. 2018, p. 28) Es gibt je nach fachspezifischer Disziplin viele unterschiedlichen 3D-Modelle, z.B. Architekturmodell, TGA-Modell. Die Modelle beschränken sich jedoch nicht nur auf 3D, sondern es gibt weitere Ergänzungen im Rahmen von Terminen und Kosten bzw. 4D-Bauablaufmodell und 5D-Kostenkalkulationsmodelle. Folgende Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Dimensionalitäten von Modellen.

2D-Modelle	3D-Modelle	4D-Modelle	5D-Modelle	Ableitungen
Raum- und Funktionsprogramm	Architekturmodell	Sonnenstandsanalyse	Kosten- beziehungsweise Kalkulationsmodell	Tür- und Fensterlisten
	Tragwerksmodell	Verformungssimulation		Bewehrungslisten
	TGA-Modelle	Strömungssimulation		Leistungsverzeichnis
	Koordinationsmodell	Bauablaufmodell		Pläne
	BIM-Objekte			

Tabelle 1 Dimensionalität von Modellen (Hausknecht and Liebich 2016, p. 121)

➤ 4D-Bauablaufmodell

Aus der Verbindung des 3D-Modells mit der Bauablaufplanung wird für jeden geplanten Bauablauf ein 4D-Modell gewonnen. Ziel ist die Visualisierung und Kontrolle der Bauabläufe und der Baustelleneinrichtung und -ausstattung, die sich im Laufe der Zeit ändern können. (Borrmann et al. 2018, p. 311) Der genaue Prozess wird im Kapitel 4.1 vorgestellt.

➤ Level of Detail, Level of Development

Level of Detail beschreibt den Detaillierungsgrad der Modellelemente, da er die geometrische Detaillierung betont. Der Begriff wurde zu Level of Development weiterentwickelt. Er beschreibt den Fertigungsgrad der Modellelemente, und definiert sowohl den geometrischen Detaillierungsgrad LOG und die Informationstiefe LOI. Es gibt 6 Stufen: 100, 200, 300, 350, 400 und 500. (Hausknecht and Liebich 2016, p. 137) In der Praxis sind die LOD-Anforderungen in der Regel Teil der Auftraggeber- Informationsanforderungen (AIA), die vom Bauherrn zu Beginn des Projekts festgelegt werden.

2.1.2 BIM-Prozess

Eine wesentliche Grundlage des Building Information Modeling ist die prozessorientierte Denkweise (Borrmann et al. 2018, p. 65). Obwohl jedes Bauwerk einzigartig ist, können die Bauprozesse eines Bauwerks allgemeingültig beschrieben werden. Das gilt auch für den BIM-Prozess. Ein Prozess wird mit Prozessname, Projektbeteiligten, Prozessabfolgen, Vorleistungen, Ergebnissen und Einflussfaktoren beschrieben und legt prinzipiell fest, welche Aufgaben von welchen Personen mit welchen Werkzeugen in welcher Reihenfolge ausgeführt werden sollen. (Hausknecht and Liebich 2016, p. 148) Ein häufig benutzter Ansatz für die Beschreibung von Prozessen für BIM-Methoden ist Business Process Model and Notation (BPMN). Die resultierende Process Map definiert eine klare Struktur für die Anforderungen und die Zuordnung von Verantwortlichkeiten für Informationsaustauschszenarien über alle Prozessschritte hinweg. (Borrmann et al. 2018, p. 130)

Zum Beginn eines neuen Projektes wird zunächst die BIM-Strategie vom Auftraggeber (AG) definiert, wobei die BIM-Ziele und BIM-Anwendungsfälle festgelegt werden. Folgende Tabelle 2 zeigt ein Beispiel dafür:

BIM-Ziele	BIM-Anwendungsfälle
kollisionsfreie Planung zur Minderung von planungsbedingten Nachträgen	Erstellen der BIM-Fachmodelle BIM-Koordination und Kollisionsprüfung

Tabelle 2 BIM-Ziel und BIM-Anwendungsfall (Hausknecht and Liebich 2016, p. 183)

- BIM-Anwendungsfälle: normalerweise werden die Anwendungsfälle leistungsphasenspezifisch aufgelistet. Folgende Tabelle 3 zeigt einige Beispiele dafür:

LP	Nr.	Anwendungsfälle
1,2	AwF 1	Bestandfassung
2,3,4	AwF 2	Entwurfs- und Genehmigungsplänen
3,4,5,8	AwF 3	Terminplanung der Ausführung
8	AwF 4	Bauwerksdokumentation

Tabelle 3 Beispiele der BIM-Anwendungsfälle (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019b)

Danach entwickelt der AG die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), wobei LOD, Anwendungsfälle, Leistungsbeschreibung, Organisation usw. definiert werden. Gemäß der AIA wird ein BIM-Abwicklungsplan (BAP) vom Bieter erstellt, wobei die genauen Umsetzungsschritte festgelegt werden. Durch die Beauftragung vom AG werden zunächst die Grundlagenmodelle erstellt und geprüft. In der Planungsphase folgen weitere Modellerstellungen und BIM-Koordinationen. In der Ausführungsphase wird der BAP ausführungsbegleitend ergänzt, und die jeweiligen Fachmodelle werden fortgeschrieben und ausgewertet. Neue zusätzliche Modelle werden vom Auftragsnehmer (AN) erstellt und vom BIM-Koordinator geprüft. Ein „As-Built“-Modell wird parallel zur Fertigstellung des Bauwerks erstellt und mit dem Ausführungsmodell angepasst, und später in der Betriebsphase leitet das „As-Built“-Modell die Ausgangsinformation von der BIM-Modelle ab. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019a)

Folgende Abbildung 2 ist eine schematische Darstellung des BIM Prozesses im Laufe der Projektphasen:

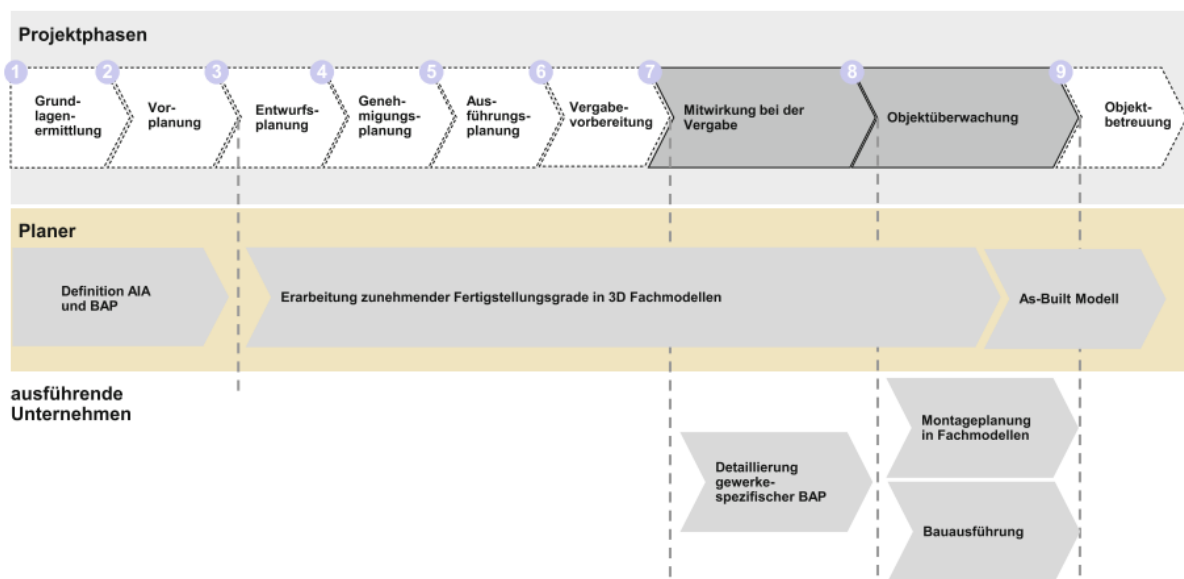


Abbildung 2 BIM Prozess und Aufgabe (Diederichs and Malkwitz 2020, p. 370, 2020, p. 370)

Da die Zusammensetzung der Teams, die technischen Möglichkeiten und auch die BIM-Ziele je nach Projekt variieren können, gibt es keinen fixierten BIM-Prozess. Aber es ist trotzdem sinnvoll, standardisierte Prozesse zu entwickeln. Der obengenannte BIM-Prozess ist dafür eine Möglichkeit. (Borrmann et al. 2018, p. 77)

2.1.3 BIM 4D

BIM 4D fügt Terminmanagement des Bauprojektes bzw. die Bauablaufinformation zu 3D-Modellen hinzu. Die Zeitdimension bringt eine Visualisierung des Bauablaufs vor den tatsächlichen Bauphasen hervor und stellt das Terminmanagement in den späteren Ausführungsphasen sicher. Es fordert eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Planungsteam und dem Bauteam durch den Austausch und Koordination von 3D-Modellen in der Planungsphase. Der genaue Prozess wird im Kapitel 4.1 vorgestellt.

2.1.4 Datenaustauschformat

Die internationale Organisation buildingSMART widmet sich seit vielen Jahren der Entwicklung der Industry Foundation Classes (IFC) als offenes, herstellernerutrales Datenaustauschformat. Dabei handelt es sich um ein komplexes Datenmodell, mit dem es möglich ist, sowohl die Geometrie als auch die semantische Struktur eines Gebäudemodells mit einem objektorientierten Ansatz darzustellen. (Borrmann et al. 2018, p. 83)

IFC bieten ein umfassendes, standardisiertes Datenformat für den herstellernerutralen Austausch von digitalen Gebäudemodellen, damit ist es eine wesentliche Grundlage für die Etablierung von Big Open BIM (Borrmann et al. 2018, p. 80).

Die neueste Version IFC 4.3 befindet sich noch in der Entwicklung und wird voraussichtlich Mitte 2022 fertiggestellt und 2023 von der ISO veröffentlicht. Die aktuelle offizielle Version ist IFC4 ADD2 TC1, die 2017 veröffentlicht wurde, aber die alte offizielle Version IFC 2X3 TC1 wird immer noch häufig verwendet. (buildingSMART 2022)

2.2 Status Quo in Deutschland

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), das früher genannte Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, hat die Reformkommission Bau von Großprojekten einberufen. Die Reformkommission initiierte in Jahr 2015 den

„Stufenplan digitales Planen und Bauen“, in dem die Grundlagen von BIM und die dreistufige Implementierung von BIM bis 2020 definiert werden. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015) Der im September 2021 veröffentlichte „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“ knüpft das BMVI an den Stufenplan an, und definiert eine weitere dreistufige Implementierungsstrategie im Bereich Bundesfernstraße ab 2021 (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021).

2.2.1 BMVI Stufenplan

Der Stufenplan beschreibt eine schrittweise Implementierung von BIM im Infrastrukturbau in Deutschland. Die erste Stufe war die Vorbereitungsphase von 2015 bis 2017, dazwischen wurden die ersten Erfahrungen der teilweisen Nutzung von BIM in den vier Pilotprojekten gesammelt (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017). Ab 2017 begann die zweite Stufe, wobei eine steigende Anzahl von Pilotprojekten im Bereich Infrastrukturbau mit dem BIM-Leistungsniveaus 1 durchgeführt wurde. Ab 2020 wurde BIM-Leistungsniveau 1 regelmäßig bei neu zu planenden Infrastrukturprojekten angewendet. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015) Die genaue Implementierungsstrategie ab 2020 wird im Kapitel 2.2.5 vorgestellt. Folgende Abbildung 3 ist die schematische Darstellung des Stufenplans:

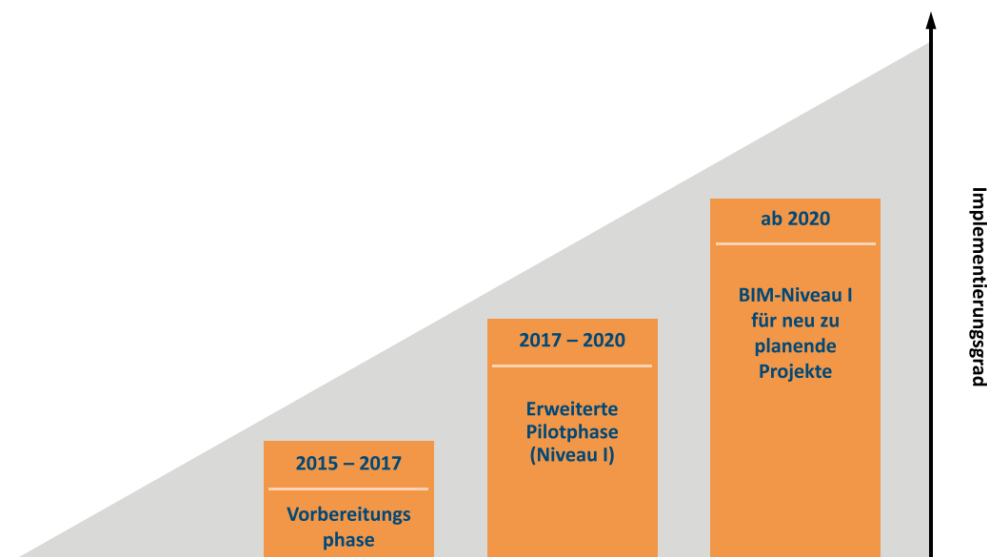


Abbildung 3 Stufenplan (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015)

2.2.2 BIM4INFRA2020

Nach der Veröffentlichung des Stufenplans wurde die Arbeitsgemeinschaft ARGE BIM4INFRA2020 im Oktober 2016 vom BMVI beauftragt, um die Umsetzung des Stufenplans in der „Erweiterten Pilotphase“ des Stufenplans zu unterstützen.

BIM4INFRA20 begleitete die Pilotprojekte und die in der Praxis gesammelten Kenntnisse der Umsetzung von BIM wurden in den Leitfäden, Mustern und Handreichungen zusammengefasst. Im September 2019 wurden zehn Handreichungen (aufgelistet in Tabelle 4) veröffentlicht, die die theoretischen Grundlagen von BIM und BIM-Gesamtprozess und die praktische Unterstützung zur Umsetzung von BIM bieten.

Teil 1	Grundlagen und BIM-Prozess
Teil 2	Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationsanforderung
Teil 3	Leitfaden und Muster für den BIM-Abwicklungsplan
Teil 4	Leitfaden zur Leistungsbeschreibung
Teil 5	Muster Besondere Vertragsbedingungen BIM
Teil 6	Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle
Teil 7	Handreichung BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad
Teil 8	Neutraler Datenaustausch im Überblick
Teil 9	Datenaustausch mit Industry Foundation Classes
Teil 10	Technologien im BIM-Umfeld

Tabelle 4 BIM4INFRA20 Handreichungen

2.2.3 BIM4RAIL

As Teil der „Erweiterten Pilotphase“ des Stufenplans wurde die ARGE BIM4RAIL am Anfang 2018 vom BMVI beauftragt, die 13 Pilotprojekte der Deutschen Bahn zum Einsatz von BIM im Schienenwegebau wissenschaftlich zu begleiten. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung dokumentierte und bewertete die ARGE BIM4RAIL die Vorgehensweisen und Prozesse in BIM-Pilotprojekten. (Schüssler-Plan 2016) Im Endbericht zur wissenschaftlichen Begleitung der 13 Pilotprojekt zur Anwendung von BIM im Schienenwegebau wurde der Reifegrad der Pilotprojekte und die Anwendungsfälle der DB Netz AG ausgewertet und schließlich die Ergebnisse zur BIM-Pilotierung evaluiert. (ARGE BIM4RAIL 2019)

2.2.4 BIM Deutschland

BIM Deutschland wurde am Anfang 2021 gegründet, und ist das nationale Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens. Das Zentrum wird vom BMVI und Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) zusammen betrieben. Insgesamt wurden 18 Partnern unter der Führung von planen-bauen 4.0 GmbH beauftragt, eine einheitliche und koordinierte Vorgehensweise mit dem Einsatz von BIM im Infrastruktur- und

Hochbau zu erarbeiten. Das Zentrum wird Strategien der BIM-Nutzung in der Betriebsphase entwickeln, Anforderungen erarbeiten, Beratung von BIM-Aktivität anbieten sowie Ausbildungs- und Schulungsmöglichkeit entwickeln. (BIM Deutschland 2020)

2.2.5 Masterplan BIM Bundesfernstraßen

Nach dem Stufenplan veröffentlichte das BMVI den „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“ im September 2021. Ziel ist der flächendeckende Einsatz von BIM in den Bundesfernstraßen bis spätestens 2025, und die Anwendung von BIM als Regelprozess ab 2025. Die Zuständigkeit der Bundesfernstraßen wird für Autobahnen und Bundesstraßen getrennt sein, wobei die Autobahn GmbH des Bundes zuständig für die Autobahnen ist und die Länder zuständig für die Bundesstraßen sind. Der Masterplan beschreibt die Implementierungsstrategie, die ein dreistufiges Phasenmodell der BIM-Einführung definiert und damit den Einsatz von BIM strukturiert. Außerdem stellt das BMVI die Handlungsempfehlung BIM (HE BIM) und Musterrichtlinie BIM (MR BIM) als Anleitungen für die BIM-Implementierung zur Verfügung. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021)

Folgende Abbildung 4 stellt die Implementierungsstrategie graphisch dar:

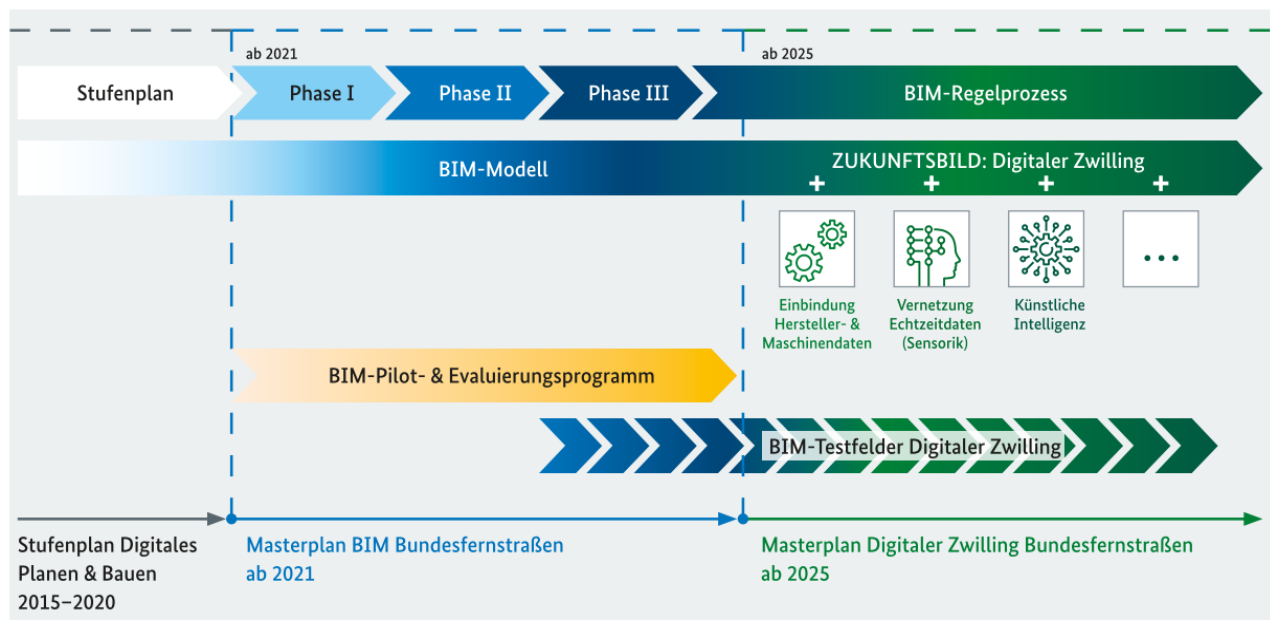


Abbildung 4 Phasenmodell der BIM-Implementierungsstrategie (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021)

In der ersten Phase wird BIM bundesweite in der Autobahn GmbH und den Auftragsverwaltungen der Länder einheitlich angewendet. In der zweiten Phase soll BIM weiter

in allen Niederlassungen der Autobahn GmbH und den Auftragsverwaltungen der Länder eingesetzt werden. Am Ende der dritten Phase wird BIM als Standard bei allen Projekten angewendet. Ab 2025 wird der Einsatz von BIM als Regelprozess verwendet. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021)

2.2.6 Zentralstelle BIM Straßenbau bei der Landesbaudirektion

Im Jahr 2020 wurde die Zentralstelle BIM Straßenbau als zentrale Service- und Beratungsstelle für das Thema BIM im Straßen- und Brückenbau bei der Landesbaudirektion Bayern gegründet. Neben der Weiterentwicklung und Umsetzung der BIM-Leitfäden Straßenbau wird die Zentralstelle bei der Erstellung von BIM-spezifischen Vergabe- und Vertragsunterlagen (AIA/BAP) mitwirken und die technischen Standards im Straßen- und Brückenbau bereitstellen. Außerdem wird die Zentralstelle bei der Durchführung von Pilotprojekten an den Staatlichen Bauämtern unterstützen. Im Bereich Straßenbau in Bayern werden insgesamt 19 Pilotprojekte in BIM bearbeitet, wobei das Beispielprojekt „B299, Umbau des Kreisverkehrs in Beilngries“, das in dieser Arbeit behandelt wird, eines davon ist. (Körber 2020)

3 Bauablaufplanung und Terminplanung

Im Bereich Projektmanagement gibt es ein magisches Dreieck, siehe Abbildung 5:



Abbildung 5 Magisches Dreieck

Dieses Dreieck beschreibt die wichtigsten drei Rahmenbedingungen zur eine erfolgreichen Projektlieferung. Kosten, Zeit und Inhalt/Umfang des Projektes wirken aufeinander aus und bestimmen die Qualität des Projektes. Deswegen spielt die Projektplanung eine besonders wichtige Rolle, um die Qualität zu garantieren. Im Rahmen eines Bauprojekts ist es derselbe Fall, da ein Bauprojekt ein spezifischer Typ von Projekt ist. In dieser Masterarbeit wird nur den Aspekt „Zeit“ bzw. die Zeit-orientierte Planung berücksichtigt.

Die Projektplanung besteht aus mehreren Schritten. Es werden zuerst die planerischen Aufgaben in der Vorbereitungsphase als Grobplanung festgelegt. Das detaillierte Vorhaben und die logische Abfolge werden in der Feinplanung bzw. Ablaufplanung dargestellt. (Zell 2018) Folgende Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der Schritte:

Projektstrukturplan (PSP)
Ablaufplanung
Terminplanung

Tabelle 5 Übersicht der zeitlichen Projektplanung (Zell 2018)

Der Projektstrukturplan zerlegt das Gesamtprojekt in Teilaufgaben und Arbeitspakete. Die Arbeitspakete werden weiter in Vorgänge zerlegt. Anschließend bauen die zeitlich-logischen Abfolgen von Vorgängen die Ablaufplanung auf. Die Terminplanung basiert

auf der Ablaufplanung, wobei die Dauer und Pufferzeit jedes Vorgangs ermittelt werden. (Zell 2018)

3.1 Bauablaufplanung

Die Bauablaufplanung ist ein wesentlicher Bestandteil der Arbeitsvorbereitung und beschreibt die Abwicklung von Bauprojekten. Der Bauablauf bezieht sich auf mehrere komplexen Vorgänge, deswegen ist dessen Planung eine essenzielle Kontroll-, und Steuerungsmaßnahme. (Hofstadler 2007, p. 55)

3.1.1 Grundelemente

Wie bereits erwähnt, baut die Bauablaufplanung auf Vorgängen auf. Außerdem gibt es noch zwei wichtige Bestandteile: Meilenstein und Anordnungsbeziehung. Die Definitionen sind laut DIN 69900 folgende:

➤ Vorgang

„Ein Vorgang ist ein Ablaufelement zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens mit definiertem Anfang und Ende (DIN 69900 2009).“ Die Dauer eines Vorgangs ist größer als 0.

➤ Ereignis (Meilenstein)

„Ein Ereignis ist ein Ablaufelement, das das Eintreten eines bestimmten Zustands beschreibt (DIN 69900 2009).“, Der Meilenstein ist ein Vorgang ohne Dauer.

➤ Anordnungsbeziehung

„Die Anordnungsbeziehung ist eine quantifizierbare Abhängigkeit zwischen Ereignissen oder Vorgängen (DIN 69900 2009).“ Es gibt vier Typen von Anordnungsbeziehung: Anfang-Anfang (AA), Ende-Anfang (EA), Anfang-Ende (AE) und Ende-Ende (EE).

Folgende Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung der Grundelemente:

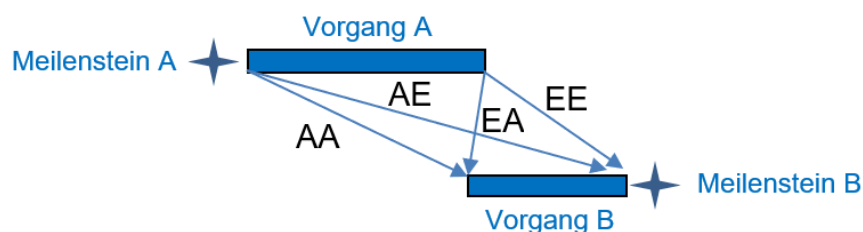


Abbildung 6 Anordnungsbeziehungen

Die zwei blauen Rechtecke stellen zwei Vorgänge dar, und die zwei Sterne stellen Meilensteine dar. Die Pfeile dazwischen beschreiben die jeweilige Anordnungsbeziehungen.

3.2 Terminplanung

Auf Basis der Ablaufplanung stellt die Terminplanung weitere Informationen wie z.B. Dauer des Vorgangs, Pufferzeit und Gesamtdauer des Projektes dar. Grundsätzlich gibt es drei Darstellungsformen zur Terminplanung und die Auswahl der Darstellungsformen hängt von der Größe und Komplexität des Projektes ab.

3.2.1 Darstellungsformen

➤ Liniendiagramm

Das Liniendiagramm eignet sich vor allem für die Straßen-, Brücken-, und Tunnelbau, und stellt ein Weg-Zeit-Diagramm oder Volumen-Zeit-Diagramm dar. Die Vorgänge werden als Geraden dargestellt. Das Weg-Zeit-Diagramm zeigt in der Längserstreckung über der Zeitachse den Bauablauf.(Gehbauer 2009) Das Volumen-Zeit-Diagramm zeigt die Volumenänderung über der Zeitachse (Eber 2020, p. 237).

➤ Balkendiagramm

Das Balkendiagramm (auch Gantt-Diagramm genannt) ist wegen seiner Anschaulichkeit die am häufigsten genutzte Darstellungsform für Bauabläufe. Es ist geeignet sowohl für die Darstellung des Gesamtablaufes als auch für die Darstellung der einzelnen Vorgänge. Die Vorgänge werden als Balken dargestellt. Das reine Balkendiagramm stellt jedoch nur die Dauer, den Anfang und das Ende der einzelnen Vorgänge dar.(Gehbauer 2009)

Folgende Abbildung 7 ist ein Beispiel eines reinen Balkendiagramms:

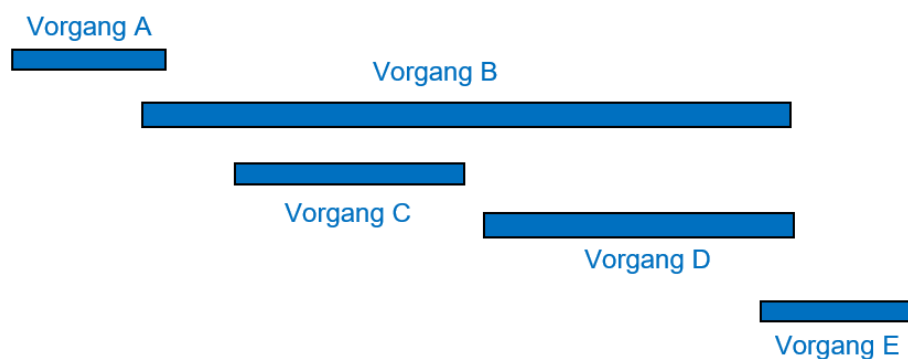


Abbildung 7 Beispiel eines reinen Balkendiagramms

In der Praxis mit der Einführung der EDV-gestützten Terminplanung wird der vernetzte Balkenplan erstellt, wobei die Anordnungsbeziehungen und Abhängigkeiten der einzelnen Vorgänge dazu ergänzt werden. Durch die Vernetzung der Vorgänge werden die kritischen Pfade und zeitliche Puffer leicht identifiziert. (Kochendörfer et al. 2018, p. 153)

Folgende Abbildung 8 ist ein Beispiel eines vernetzten Balkendiagramms:

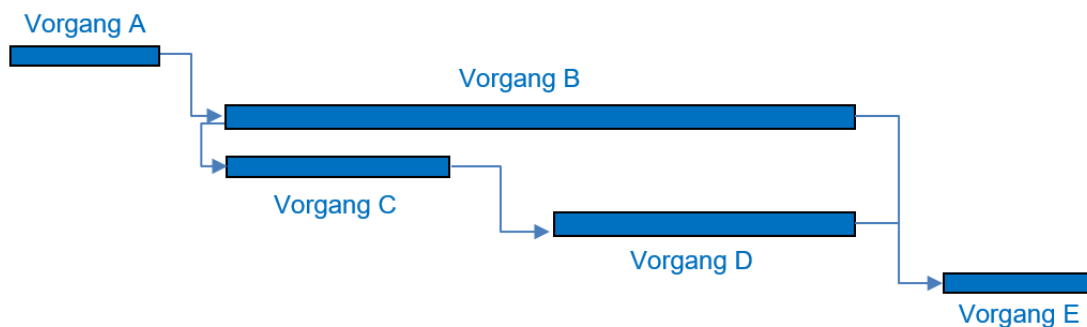


Abbildung 8 Beispiel eines vernetzten Balkendiagramms

➤ Netzplan

Der Netzplan eignet sich für Projekte mit zahlreichen Einzelvorgängen und starken gegenseitigen Abhängigkeiten dazu. Es gibt zwei Typen von Netzplänen, die sich in der Darstellungsweise unterscheiden. Zum einen ist das Vorgangspfeil-Verfahren (Critical Path Method, CPM), wobei die Vorgänge durch die Pfeile und Ereignisse durch die Knoten dargestellt werden. Das Verfahren ist in der Praxis ungebräuchlich, aber es ist die Grundlage der meisten Terminplanungssoftwares. Zum anderen ist das Vorgangsknoten-Verfahren (Metra Potential Method, MPM), wobei die Vorgänge durch die Knoten und die Anordnungsbeziehungen durch die Pfeile dargestellt werden. (Kochendörfer et al. 2018, p. 157)

3.3 Detaillierungsgrad von Terminplanungen

Die Erstellung von Terminplänen benötigt ständige Information im Laufe des Projektes, und ist ein stufenweiser dynamischer Prozess. Generell besteht die Terminplanung aus drei Stufen: Terminrahmen, Gesamtsteuerungsterminplanung und Steuerungsterminplanung. (Kochendörfer et al. 2018, p. 162) Folgende Abbildung 9 ist die stufenweise Terminplanung:

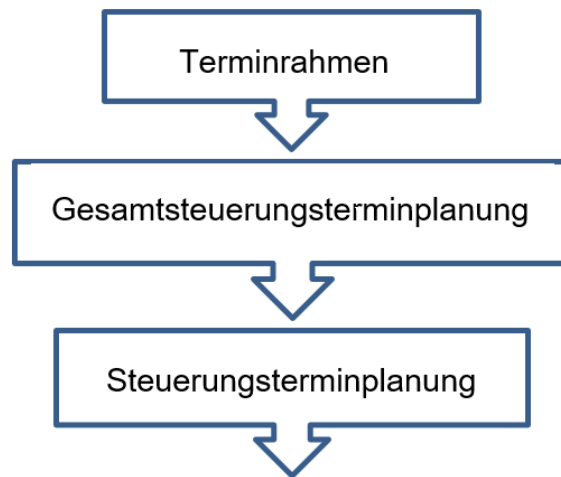


Abbildung 9 Drei Stufen der Terminplanung

In der Grundlagenermittlungsphase wird zuerst ein Terminrahmen in einer strategischen Ebene erstellt. In dieser Projektphase wird der Projektablauf als den groben Terminrahmen festgelegt. Der Schwerpunkt liegt bei der Festlegung der wichtigen Meilensteine wie z.B. Fertigstellung der Entwurfsplanung, Beginn der Ausschreibung, Baubeginn und Abnahme. Die Steuerungsterminplanung des Gesamtprojektes entwickelt sich aus dem Terminrahmen mit der Fokussierung auf die Vorgänge und Meilensteine, und dazwischen werden die Vertragstermine fixiert. Mit fortschreitendem Projektablauf und zunehmender Vorgangszahl ist die Aufteilung der Steuerungsterminplanung in Planung und Ausführung gebräuchlich. Die Fokussierung liegt vor allem in den verfeinerten Einzelvorgängen. Die Steuerungsterminplanung ist die Grundlage für spätere Termin-Kontrollen bzw. Soll-Ist-Vergleiche in den Ausführungsphasen. Außerdem gibt es noch Detailierungsterminplanung für einzelne Bauteile. (Kochendörfer et al. 2018, p. 162):

3.4 Modellbasierte Bauablaufplanung

Durch die zunehmende Verbreitung der Anwendung von BIM wird die automatische Verarbeitung der Informationen bzgl. Kosten, Mengen und Terminen im Bauwerksmodell möglich. Im Bereich der Bauablaufplanung wird die Visualisierung des Baufortschritts auf Basis der 3D-Modelle durch die Verknüpfung von dem Modell und Vorgängen realisiert. Dies dient einer Bauablaufplanung in den frühen Planungsphasen und der Kontrolle des Bauablaufs. Der Terminplan wird entweder manuell erstellt und mit den entsprechenden Modellobjekten verknüpft oder durch die regelbasierte Verknüpfung der vordefinierten Prozesse und der Modellobjekte erstellt. (Hartmann 2014, p. 2) Die genaue Vorgehensweise befindet sich im Kapitel 4.1.

3.5 Stand der Technik und Forschungslücke

Modellbasierte, und BIM-basierte Terminplanung ist in Forschungsstudien und der Literatur weithin anerkannt. Tulke et al. beschreiben einen neuartigen Lösungsansatz, der aus einem dynamischen Kooperationsrahmen besteht, der für die Bauzeitplanung auf der Grundlage von BIM unter Verwendung von IFC zugeschnitten ist (Tulke et al. 2008). Tauscher et al. stellen einen neuartigen Ansatz für die Erstellung von Bauablaufplänen unter Verwendung von IFC vor (Tauscher et al. 2009). Büchmann-Slorup und Andersson zeigen, dass die größte Herausforderung bei der Einführung einer BIM-basierten Planung darin besteht, die Gesamtplanung zu verbessern, und ihre Studie weist auf die Notwendigkeit hin, Subunternehmer und Hersteller bereits in den frühesten Phasen des Projekts einzubeziehen, um projektspezifische Informationen für den Gesamtterminplan zu erstellen (Büchmann-Slorup und Andersson 2010). Tulke befasst sich mit einer vertieften Integration der Bauablaufplanung in die modellbasierte Arbeitsweise mit einer umfassenden Analyse der Rahmenbedingungen und des Informationsbedarfs bei der Terminplanung, wobei Konzepte einer Verknüpfungssprache zur effizienten Wiederverwendung von Modelldaten, ein vollständiger Datenaustausch auf der Basis von IFC und ein Änderungsmanagement auf der Basis von Objekt Versionierung vorgestellt werden (Tulke 2010). Welde und Knapp entwickeln eine Methode, die regelbasiertes räumliches Reasoning auf der Grundlage der topologischen Beziehungen zwischen den Gebäudekomponenten in einem BIM anwendet, um eine technologisch und physikalisch sinnvolle Baureihenfolge der Gebäudekomponenten zu generieren und gleichzeitig die Zuordnung dieser Aktivitäten zu BIM-Objekten für die Zwecke der 4D-Planvisualisierung zu automatisieren (Welde und Knapp 2012). Kim et al. erstellen einen Rahmen für die automatische Erstellung von Bauzeitplänen unter Verwendung von Daten (z. B. räumliche, geometrische, Mengen-, Beziehungs- und Materialschichtinformationen), die in BIM gespeichert sind (Kim et al. 2013). Montaser und Moselhi entwickeln eine automatisierte Methodik, die in einer Prototypsoftware implementiert ist, die die 3D-BIM-Objekte über ein neu hinzugefügtes Attribut zu jedem 3D-BIM-Objekt mittels Revit Application Programming Interface (API) den Projektplanaktivitäten zuordnet (Montaser und Moselhi 2015). In der Forschungsarbeit von Welde wird ein Ansatz entwickelt, der 3D-Gebäudeinformationsmodelle in eine Quelle direkter Eingabeinformationen umwandelt, um erste Bauzeitpläne für kommerzielle Bauprojekte zu generieren, was letztendlich zu einer automatisierten Visualisie-

nung des erstellten Zeitplans in 4D-BIM führt (Welde 2016). Sigalov und König konzentrieren sich auf die Schätzung der Ähnlichkeit von Bauablaufplänen, wobei merkmalsbasierte Methoden und Definitionen von Ähnlichkeitsmaßen im Detail beschrieben werden, sowie auf die Vorbereitung von Plänen zur Erkennung von Prozessmustern (Sigalov und König 2017). Teizer et al. stellen in ihrer Arbeit die automatische Generierung des Terminplans durch Erstellung der wiederverwendbaren Prozessbausteine und die Verknüpfung der Prozessbausteine und Bauwerkstruktur vor (Teizer et al. 2017).

Die Anwendung von BIM in Deutschland wird zunehmend im Straßenbau- und Brückenbaubereich eingesetzt. Auf der politischen Ebene wurde der Einsatz von BIM-Methode zunächst im Jahr 2015 vom Stufenplan des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) definiert, und später durch einen vom BMVI im Jahr 2021 veröffentlichten „BIM Masterplan Bundesfernstraße“ mit dem Ziel einer flächendeckenden Anwendung von BIM angestoßen. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2021) Inzwischen wurden viele Pilotprojekte bundesweit erfolgreich abgeschlossen und Handreichungen vom BIMINFRA2020 veröffentlicht.

Die vom BMVI beauftragte Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 wurde während der wissenschaftlichen Begleitung der Pilotprojekte die übergeordneten BIM-Ziele und daraus ergebene BIM-Anwendungsfälle festgelegt. Anhand der Aufwand-Nutzen-Analyse, die durch den Nutzen des BIM-Einsatzes und den verbundenen Aufwand beobachtet wird, und die während der Umsetzung von BIM betroffenen Risiken wurden drei Szenarien „Einstieg“, „Aufbruch“ und „Höchstleistung“ entwickelt. Entsprechend der Vorgehensweise wurde alle 20 Anwendungsfälle (siehe Anhang A) in Form einer Expertenbefragung durchgeführt. Die Bewertung der Nutzen-Aufwand-Analyse und die Zuordnung der Anwendungsfälle zu den Szenarien befinden sich im Anhang B und C. Schließlich wurde die Umsetzung des Szenarios „Aufbruch“ wegen des verhältnismäßig geringen Aufwands und des deutlichen hohen Nutzens empfohlen. (BIM4INFRA2020 2018) In dem neusten veröffentlichten Masterplan BIM Bundesstraßen von BMVI wurden die 20 Anwendungsfälle (siehe Anhang D) angepasst und vor allem 8 davon als prioritäre Anwendungsfälle (siehe Anhang E) ausgewählt. Der Anwendungsfall „120 Terminplanung der Ausführung“ ist aber keiner prioritäre Anwendungsfall. (BMVI 2021)

Der Anwendungsfall „Terminplanung der Ausführung“ bzw. Bauablaufsimulation wurde bereits von einigen der Pilotprojekten in unterschiedlichen Stufen implementiert,

z.B. im Projekt „Tunnel Rastatt“ wurde die Termine und Leistungsverzeichnis mit dem 3D Modell in *iTWO* verknüpft, aber es wurde kein Simulationsmodell für den kritischen Bereich eingesetzt, weil das Projekt bereits im fortgeschrittenen Stand zu Beginn des BIM-Pilotprojekts war (planen-bauen 4.0 2017). Im Projekt „Muldebrücke Grimma im Zuge der A14“ wurde das im *Allplan/Allplan Bridge* erstellte 3D-Modell mit der im *MS Project* erstellte Projektablaufplanung in *Desite MD* verknüpft, aber die automatisierte Software-Schnittstelle war noch in der Eigenentwicklung und es wurde keine Kenntnis in Bezug auf das schnelle Neuverknüpfung bei Änderung von diesem Projekt gewonnen (Schmidt 2021). Die angewendete Methode für den Anwendungsfall „Terminplanung der Ausführung“, wurde im Kapitel 3.4 erwähnt und wird später noch im Kapitel 4.1 ausführlich erklärt.

Die modellbasierte Bauablaufsimulation wurde bereits früher im Hochbau eingesetzt, wobei die Terminplanung theoretisch und praktisch einfach festzulegen ist, und die Bauwerksstruktur deutlich angeordnet wird. Außerhalb von der teilautomatisierten Verknüpfung des Terminplans und des 3D-Modells wird die regelbasierte Verknüpfung üblicherweise im Hochbau angewendet. Im Infrastrukturbau, bzw. Straßenbau und Brückenbau, müsste dieser Anwendungsfall noch weiterentwickelt werden. Generell besteht bei der modellbasierten Terminplanung in Projekten noch erheblicher Entwicklungsbedarf, da diese Anwendungen heute nur noch selten bzw. nur in Pilotprojekten getestet werden. (Diederichs und Malkwitz 2020, p. 380) Auf der einen Seite ist die Erstellung eines Terminplans im Infrastrukturbauprojekt nicht so üblich wie im Hochbau, und der Terminplan kann stark von den Wetterbedingungen beeinflusst werden. Auf der anderen Seite wird das Bauwerksmodell des Infrastrukturbaus normalerweise nicht wie im Hochbau klar strukturiert. Aufgrund des Einfügens des Geländes im Modell, werden Infrastrukturbauwerke geometrisch deutlich komplexere Formen aufweisen. Der Volumenkörper ergibt sich aus der Geländeverschnidung. Deswegen ist die regelbasierte Verknüpfung schwer anzuwenden.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die oben genannten Forschungslücken, um die Vorgehensweise der Anwendung vom BIM 4D im Infrastrukturbau vorzustellen und die Anwendung der Vorgehensweise in einem Pilotprojekt einzusetzen. Schließlich werden die dabei entstehenden Schwierigkeiten und Herausforderungen analysiert und dazu Verbesserungsmöglichkeiten für zukünftige Infrastrukturbauprojekte gegeben.

4 Prozessplanung des BIM 4D Modells

Traditionell wurden Balkendiagramme für die Planung von Projekten verwendet, die jedoch nicht in der Lage waren zu zeigen, wie bestimmte Aktivitäten in einer bestimmten Reihenfolge miteinander verknüpft waren; sie konnten auch nicht den längsten (kritischen) Pfad zur Fertigstellung eines Projekts berechnen. Mit der Erfindung der Methode des kritischen Pfades (CPM) in den 1950er Jahren wurde sie zum Standardverfahren für die Bauplanung sein. Mit der Entwicklung von Werkzeugen, die auf CPM-Algorithmen basieren, wurde Software wie *Microsoft Project* entwickelt, um den Gesamtterminplan mit einer Vielzahl von Berichten und Anzeigen zu erstellen, zu aktualisieren und zu kommunizieren. Die CPM-Tools werden jedoch unabhängig vom Modell verwendet, was zu dem Problem führt, dass sie nicht mit dem Entwurf synchronisiert sind. Andererseits haben die Projektbeteiligten Schwierigkeiten, das traditionelle Gantt-Diagramm zu verstehen. In den 1980er Jahren wurde ein Ansatz entwickelt, der als 4D-CAD bekannt war, um dieses Problem zu lösen. Dabei erstellten Bauunternehmen "manuelle" 4D-Darstellungen, indem sie Snapshots von Modellen jeder kritischen Phase oder jedes Zeitraums im Projekt kombinierten. Mit der Entwicklung der BIM-Technologie und der BIM-Werkzeuge ermöglicht das 4D-Modell, bei dem der Bauzeitplan mit den BIM-Objekten verknüpft ist, die Visualisierung des Bauablaufs des Gebäudes. (Eastman et al. 2018, p. 245–247) BIM erleichtert Planern das häufigere Erstellen, Überprüfen und Bearbeiten von 4D-Modellen, was zur Implementierung besserer und zuverlässigerer Zeitpläne geführt hat (Eastman et al. 2018, p. 249). In diesem Kapitel werden die Vorgehensweise des BIM 4D Prozess und die unterschiedlichen Verknüpfungsmöglichkeiten vorgestellt und schließlich die Vorteile und Herausforderungen vom BIM 4D analysiert.

4.1 Allgemeine BIM 4D Prozess

Der wesentliche Teil von BIM besteht darin, das Bauwerk virtuell zu erstellen, bevor es tatsächlich gebaut wird, damit Planer und Bauunternehmer Kosten- und Zeitaufwand abschätzen und optimieren sowie mögliche Probleme in der Bauphase erkennen und vermeiden können, und damit die Beteiligten die Projektfortschritte im Voraus besser verstehen können. Das Hinzufügen von Zeit- und Ablaufinformationen zum 3D-

Bauwerkinformationsmodell ist der Kern von BIM 4D, der eine frühzeitige virtuelle Bauablaufsimulation ermöglicht. Für die Verknüpfung von Bauteilen und Vorgängen werden verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung gestellt, die im Kapitel 4.2 ausführlich vorgestellt werden.

4.1.1 Software

Es gibt viele Softwarelösungen zur Erstellung von 4D-Modellen. Im Allgemeinen gibt es drei Möglichkeiten: BIM-Plattformen mit integrierten oder hinzugefügten 4D-Funktionen, eigenständige 3D-Software mit 4D-Funktionen und eigenständige 4D-BIM-Software. Die folgende Tabelle 6 zeigt einige der häufig verwendeten Software: (Eastman et al. 2018, p. 253)

BIM-Plattform mit 4D-Funktionen	3D-Software mit 4D-Funktionen	Eigenständige 4D-BIM-Software
DP Manager (Digital Project)	Revit	RIB iTWO
Desite MD	Tekla Structures	Navisworks
		Synchro PRO
		Vico Office

Tabelle 6 Softwarelösungen zur Erstellung von 4D-Modellen

DPManger ist ein Zusatzprodukt zur BIM-Kernplattform von *Digital Project*, mit dem Benutzer 3D-Komponenten mit Aktivitäten verknüpfen können, um 4D-Simulationsanalysen zu erstellen. Die Aktivitäten wurden zuvor in *Primavera* oder *MS Project* definiert. (Eastman et al. 2018, p. 253) *Desite MD* ist eine BIM-Plattform, die den Benutzern ermöglicht, Terminplanungen entweder aus *MS Project* zu importieren oder regelbasiert zu erstellen und 3D-Objekte mit den Aktivitäten zu verknüpfen, um eine 4D-Simulationsanalyse zu erstellen. In *Revit* enthält jedes Objekt einen Parameter für "Phasing", der einem Objekt eine "Phase" zuweist und dann den Revit-Ansichtsfiler verwendet, um verschiedene Phasen anzuzeigen und 4D-Snapshots zu erstellen. *Tekla Structures* bietet eine vollwertige Gantt-Diagramm-Planungsschnittstelle, die die Definition von Aufgaben und die Zuordnung von Modellobjekten zu einer oder mehreren Aufgaben ermöglicht. Das Modell kann zwischen den Terminen abgespielt werden,

und die Objekte können entsprechend den zeitabhängigen Attributen farblich gekennzeichnet werden. *RIB iTWO* stellt zu den Geometriedaten die für das Bauprojekt benötigten Ressourcen, wie Baustoffe, Maschinen oder Personal, sowie Termine und Prozesse zur Verfügung. Es versteht sich mehr als 5D-Software, bietet aber auch 4D-Funktionen. Das Timeliner-Modul in *Navisworks* unterstützt die automatische und manuelle Verknüpfung mit importierten Zeitplandaten aus einer Vielzahl von Zeitplananwendungen. *Synchro PRO* ist ein ausgereiftes, hochentwickeltes, eigenständiges 4D-BIM-Tool, das tiefere Kenntnisse in der Terminplanung und im Projektmanagement erfordert. Es akzeptiert Gebäudemodellobjekte und Planungsaktivitäten aus einer Vielzahl von Quellen. (Eastman et al. 2018, p. 253)

4.1.2 Zu berücksichtigende Aspekte

Bevor der 4D-Prozess beginnt, müssen viele Aspekte bei der Vorbereitung und Entwicklung eines 4D-Modells berücksichtigt werden. Vor allem ist die Berücksichtigung des Detaillierungsgrads, weil das 3D-Modell oft einen höheren Detaillierungsgrad im Vergleich zum Bauzeitenplan haben kann. Es kann beispielsweise nur Teil des Objektes oder mehr als ein Objekt einer einzelnen Aktivität zugeordnet werden. (Diederichs and Malkwitz 2020, p. 379) In beiden Fällen spielen die Objektteilung und das Objektzusammenfügen eine wichtige Rolle. Folgende Abbildung 10 ist die schematische Darstellung zur Notwendigkeit von Objektteilung und vom Objektzusammenfügen:

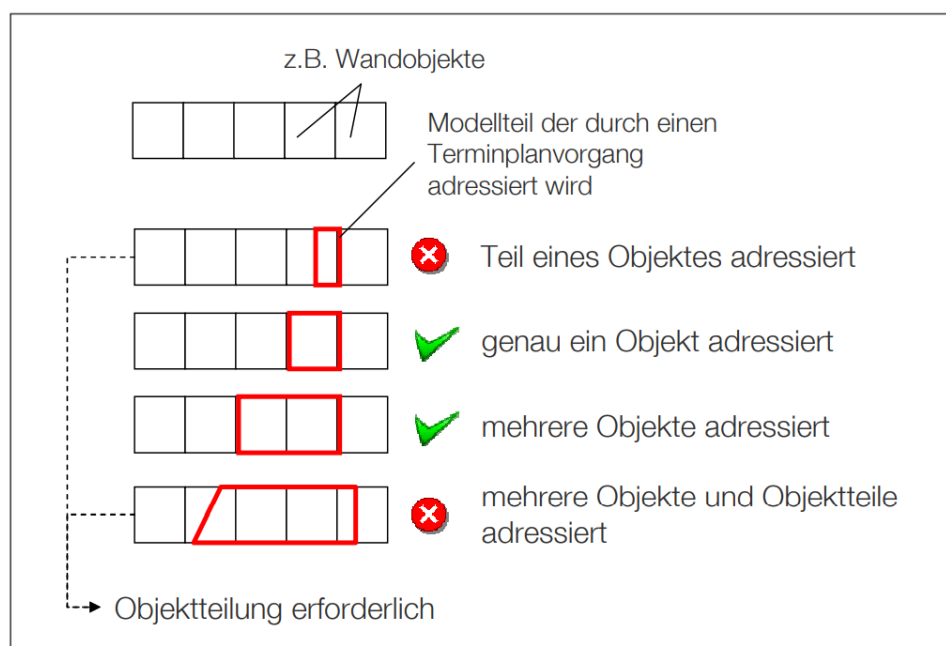


Abbildung 10 Objektteilung und Objektzusammenfügen (Tulke 2010)

Es kann jedoch ein Problem für Planer sein, bestimmte Objekte aufzubrechen und aufzuteilen. Die meisten Modellierungssoftwares bieten diese Funktion nicht, und der Planer muss diese „Aufteilungen“ innerhalb des BIM-Tools vornehmen, bevor sie in das 4D-Tool importiert wird. (Eastman et al. 2018, p. 254) Der zusätzliche Aufwand von der Aufteilung des Modellobjektes innerhalb des BIM-Tools könnte vermieden werden, wenn der Detaillierungsgrad des Modells und des Bauzeitenplans in der Planungsphase berücksichtigt werden.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist die Struktur des Terminplans. Die weiteren Prozesse, die durch die automatisierte Verknüpfung von Objekten und Vorgänge erfolgen, können vereinfacht werden, wenn der Terminplan der Struktur und dem Detaillierungsgrad des Modells folgt. (Bach and Stiehler 2021, p. 663) Die Art und Weise, wie Architekten oder Ingenieure ein 3D-Modell organisieren, reicht jedoch häufig nicht aus, um Objekten Vorgänge zuzuordnen. Daher ist es wichtig, Objekte oder geometrische Einheiten neu zu organisieren oder benutzerdefinierte Gruppierungen zu erstellen. (Eastman et al. 2018, p. 254)

Beide Aspekte wurden bei der Umsetzung des 4D-Prozesses in dem Beispielprojekt berücksichtigt. Die Lösungsansätze befinden sich im Kapitel 5.5.2 und Kapitel 5.5.3.

4.2 Arten der Erstellung des 4D-Modells

Um ein 4D-Modell zu erstellen, gibt es zwei Möglichkeiten. Die eine besteht darin, vorab einen traditionellen Terminplan zu erstellen und die Aktivitäten im Terminplan mit den Objekten im 3D-Modell zu verknüpfen, wobei der Verknüpfungsprozess entweder manuell oder halbautomatisch durch Regeln sich unterscheiden kann. Die andere Möglichkeit ist die automatisierte Generierung des Terminplans durch die regelbasierte Verknüpfung der Prozessbausteine und der Bauwerkstruktur des 3D-Modells.

4.2.1 Verknüpfung von Terminplanung und 3D-Modell

Die Voraussetzungen für diesen Ansatz sind ein traditioneller Terminplan und die Verknüpfung der Vorgänge des bestehenden Terminplans mit den Objekten des 3D-Modells. Der Terminplan wird sehr häufig mit *MS Project* erstellt. Die Verknüpfung kann in vielen Softwaresystemen erfolgen, wie z. B. *Navisworks*, *Vico*, *Synchro* und *Desite MD*. Es gibt zwei Möglichkeiten der Verknüpfung:

➤ Manuelle Verknüpfung

Die Manuelle Verknüpfung dient dazu, die Aktivitäten den entsprechenden Objekten zuzuordnen. Der erforderliche Aufwand hängt stark von der Projektgröße und der Komplexität bzw. der Anzahl der Aktivitäten und Objekte des Modells ab. Bei einer großen Anzahl von Aktivitäten und Objekten kann der Verknüpfungsprozess sehr zeitaufwändig sein, jedoch ist diese Methode am einfachsten zu verstehen und auszuführen.

➤ **Regelbasierte Verknüpfung**

Regelbasierte Verknüpfung dient einer halbautomatischen Zuordnung, bei der entweder Identifikationsnummern der BIM-Komponenten automatisch mit den entsprechenden Zahlencodes der einzelnen Prozesse verknüpft wird, oder die Zuordnung auf semantischen Informationen aus den BIM-Modellen und den semantischen Informationen aus dem Terminplan und auf der Grundlage der in der Software definierten Verknüpfungsregeln basiert. Das hat den Vorteil, dass Änderungen am BIM-Modell oder Terminvarianten mit wenigem Aufwand visualisiert werden können. (Marian Behaneck 2020)

4.2.2 Automatisierte Erstellung der Terminplanung

Die automatische Erstellung des Bauzeitplans durch die Verbindung von Prozessbausteinen und Bauwerkstruktur innerhalb des 3D-Modells ist ein großer Fortschritt im Vergleich zu den traditionellen Verfahren, und wurde bereits erfolgreich in Hochbauprojekten implementiert.

In den Prozessbausteinen werden zuerst einzelne Arbeitsprozesse und Teilprozesse zur Erstellung der jeweiligen Bauteile aufgelistet, und die Abhängigkeiten sowie die Anordnungsbeziehungen zwischen den Teilprozessen festgelegt. Dazu wird die Menge des bestimmten Bauteils durch eine Formel berechnet. Anschließend werden Aufwandswerte und Ressourcen abgestimmt. Außerdem wird die Visualisierung der einzelnen Teilprozesse definiert und ebenso Restriktionen der einzelnen Teilprozesse wie z.B. bestimmte Dauer oder Start-/Enddatum festgelegt. Es gibt einen Vorteil im Zusammenhang mit den Prozessbausteinen, die in anderen ähnlichen Projekten wiederverwendet werden können, da sie in einer Datenbank gespeichert sind. In der Bauwerkstruktur ist die Reihenfolge der Erstellung des Bauwerks aufgelistet. Das einzelne Element der Bauwerkstruktur wird mit entsprechenden Objekten des Bauwerks verknüpft und die Elemente enthalten Anordnungsbeziehung aufeinander sowie auch andere nötige Informationen. Schließlich wird der Terminplan durch die Verknüpfung der

Prozessbausteine und der Bauwerkstruktur automatisch erstellt. Der Aufwand zur Erstellung einer modellbasierten Bauablaufplanung hängt vom Umfang der verfügbaren Attribute, den Objekten im Bauwerksmodell und der Bauwerkstruktur ab. Ein weiterer Mehrwert für die modellbasierte Terminplanung liegt jedoch darin, die Mengen aus dem Modell abzufragen, um die Prozessdauern zu berechnen. Bei einer integrierten Arbeitsweise besteht der Vorteil einer einheitlichen Information für die Mengen, die dem Terminplan zugrunde liegen, und die Mengen, die für die Kalkulation verwendet werden. (Teizer et al. 2017)

4.3 Simulieren und Exportieren

Nach der Erstellung des modellbasierten Terminplans kann der Bauablauf simuliert und in einem Videoformat visualisiert werden, wobei die Modellelemente chronologisch gemäß ihrem Terminplan angezeigt werden.

4.4 Vorteile und Herausforderungen der 4D Bauablaufsimulation

Mit der Integration der zeitlichen Information in die 3D-Modelle bietet BIM 4D eine neue Arbeitsweise im Baubereich. Die wichtigsten Vorteile sind:

➤ **Optimierte Modellierung**

Das Einbringen der detaillierten Bauplanung in die Entwurfsphase ermöglicht eine frühzeitige Einbeziehung des Bauleiters, der das Modell vom Architekten aus bautechnischer Sicht optimieren kann.

➤ **Bessere Bauprozessplanung**

Durch die Verknüpfung des Bauwerksmodells und der Terminplanung in der Planungsphase können die Bauprozesse früher detailliert bestimmt werden und mögliche Fehler frühzeitig erkannt und vermieden werden. (Teizer et al. 2017, p. 1)

➤ **Bessere Kommunikation**

Der BIM 4D-Prozess kann die Bauphase früh in die Entwurfsphase bringen, sodass sowohl der Planer als auch das Bauunternehmen sich in der frühen Projektphase besser austauschen können um den Baufortschritt von Anfang bis Ende eines Projekts verfolgen und kontrollieren zu können. Durch die Simulation können Planer den geplanten Bauablauf visuell allen Projektbeteiligten, vor allem dem Bauherrn mitteilen. Das 4D-Modell erfasst sowohl die zeitlichen als

auch die räumlichen Aspekte eines Zeitplans und kommuniziert diesen Zeitplan effektiver als ein herkömmliches Gantt-Diagramm. (Eastman et al. 2018, p. 250)

➤ **Bessere Koordination**

Durch die frühzeitige Einbindung der Bauplanung in die Entwurfsphase kann der Auftragnehmer schnelle Rückmeldungen zu Baubarkeit, Ablauf und geschätzten Baukosten geben. Die frühzeitige Integration dieser Informationen ist für den Architekten und Bauherrn von großem Vorteil. (Eastman et al. 2018, p. 249)

➤ **Überprüfung eines Ablaufplans auf Vollständigkeit und Änderung**

Die Verknüpfung von Vorgängen und Modellobjekten bietet die Möglichkeit, verschiedene Aspekte des Terminplans auf Vollständigkeit zu prüfen und die Berücksichtigung von Änderungen im Modell auch im Ablaufplan sicherzustellen. Darüber hinaus ist durch Visualisierung eine allgemeine Kontrolle des Bauablaufs über die Durchführbarkeit und Effizienz ohne zusätzliche Bearbeitung möglich. (Hartmann 2014, p. 7)

➤ **Vergleich der Terminpläne und Baufortschrittkontrolle**

BIM 4D spielt nicht nur in der Planungsphase, sondern auch in der Ausführungsphase eine wichtige Rolle. Der Projektmanager kann verschiedene Terminpläne einfach vergleichen und schnell erkennen, ob das Projekt im Zeitplan liegt oder hinter dem Zeitplan zurückbleibt. (Eastman et al. 2018, p. 250)

Trotz aller oben genannten Vorteile befindet sich die Implementierung von BIM 4D noch in der Entwicklung. Einerseits erfordert die Anwendung dieser Methode wie bei der traditionellen Methode einen bestehenden Zeitplan, andererseits erfolgt die Verknüpfung mit dem 3D-Modell entweder manuell oder regelbasiert. Beides ist potenziell zeitaufwändig und fehleranfällig. (Teizer et al. 2017, p. 2) Darüber hinaus erfordert die automatisierte Erstellung des Terminplans, die durch Regeln und die vordefinierten Prozesse ebenfalls sehr zeitaufwändig und kompliziert sein kann, nicht nur grundlegendes Planungswissen, sondern auch andere regelbasierte Fähigkeiten.

4.5 Dokumentation und Analyse der Bauablaufplanung beim StBA Ingolstadt

Das Staatliche Bauamt Ingolstadt ist eines von 19 Staatlichen Bauämtern in Bayern, und der Bereich Straßenbau ist zuständig für die Planung, den Bau, den Betrieb, und die Verwaltung der Bundes-, Staats-, und Kreisstraßen. Zum Stand Ende März gibt es

aktuell 50 Infrastrukturprojekte, wobei 25 davon Bundesstraßen, und 25 davon Staatsstraßen sind. 26 Projekte sind in der Planungsphase, 6 sind in der Bauphase und 18 sind fertiggestellt. (Staatliches Bauamt Ingolstadt 2022)

Unter allen Infrastrukturprojekten verwenden die meisten noch die traditionelle Bauablaufplanung. Bei großen Projekten wird die Bauablaufplanung in der Leistungsphase 5 an die Bauabteilung übergeben. Bei kleinen Projekten wird die Bauablaufplanung bereits in der Leistungsphase 3 bei der Entwurfsplanung berücksichtigt.

Das Projekt „B299, Umbau der Brandkreuzung in Beilngries in einen Kreisverkehr“ ist das einzige Projekt mit dem Einsatz der BIM-Methode, und es ist eines von 11 BIM-Pilotprojekten in Bayern. In diesem Pilotprojekt wird jedoch vorrangig BIM 3D und 5D verwendet. Die Anwendung von BIM 4D, bzw. Terminplanung ist eine zusätzliche Anforderung der Landesbaudirektion Bayern. Das Staatliche Bauamt Ingolstadt als Auftraggeber wird nach Fertigstellung des Bauvorhabens den Erkenntnisgewinn während der Anwendung vom BIM in der Planungsphasen für die Erstellung des BIM-Leitfadens des BMVI zur Verfügung stellen.

Die bisher erreichten Erkenntnisse in diesem Pilotprojekt zeigen schon das hohe Potential von BIM, und es wird in der Zukunft noch mehr Projekte geben, bei denen BIM eingesetzt wird.

5 Beispielprojekt: B 299, Umbau der „Brandkreuzung in Beilngries in einen Kreisverkehr“

5.1 Projektübersicht

Das Bauvorhaben umfasst den Umbau der „Brandkreuzung“ in einen Kreisverkehr in der Stadt Beilngries. Das Staatliche Bauamt Ingolstadt hat das Bauprojekt als BIM-Pilotprojekt ausgewählt, um Erkenntnisse für die Erstellung eines BIM-Leitfadens des Bayerischen Staatministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr zu gewinnen. Die bestehende Kreuzung befindet sich an der Bundesstraße B 299, und der Knotenpunkt befindet sich in der Innenstadt von Beilngries. Am Knotenpunkt treffen die west-östlich verlaufende B299, die Kevenhüller Straße von Süden und die Straße Im Oehl von Norden aufeinander. (Erläuterungsbericht, p.6) Folgende Abbildung 11 stellt den Lageplan des Bauvorhabens dar, und die Kreuzung befindet sich im blauen Kreis:

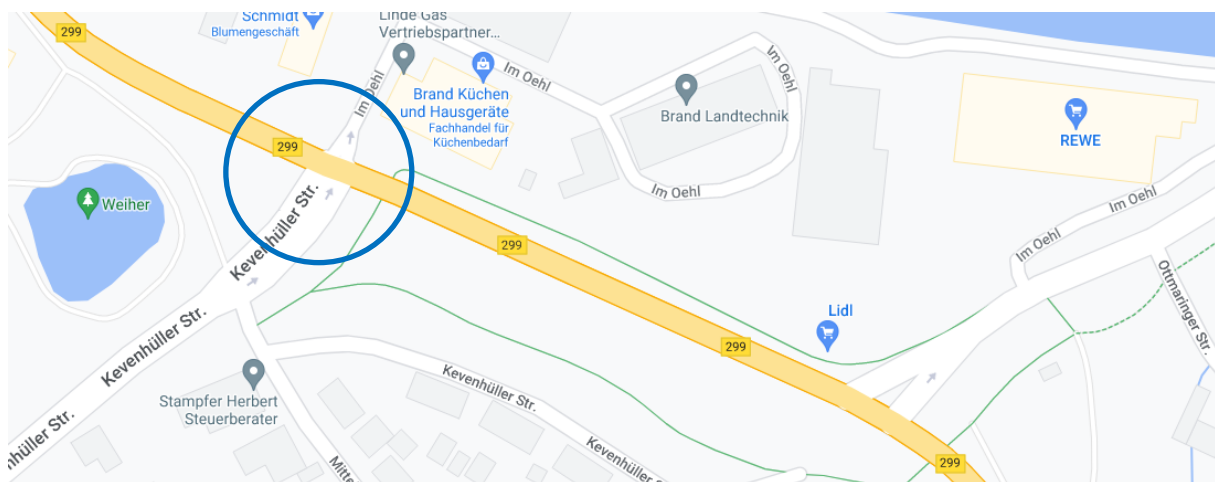


Abbildung 11 Lageplan des Bauvorhabens (Google Maps)

Aufgrund des erhöhten Verkehrsaufkommens von der Überlagerung des Berufsverkehrs mit dem Einkaufs- und Freizeitverkehr in den Spitzenstunden ist die „Brandkreuzung“ nicht leistungsfähig genug. Die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs wird entsprechend der Leistungsfähigkeitsuntersuchung als Stufe D beurteilt. Mit dem Umbau der Kreuzung in einen Kreisverkehr kann die Qualitätsstufe auf Stufe A verbessert werden. (Erläuterungsbericht, p.8-9)

Parallel zur Kevenhüller Straße verläuft der Geh- und Radweg von Süden in die Unterführung und biegt in östliche Richtung parallel zur B 299 ab. Das alte Unterführungsbauwerk wird rückgebaut und neu gebaut. (Erläuterungsbericht, p.6)

Im Juni 2020 wurde die Planung der Straßenverkehrsanlagen und des Ingenieurbauwerks angefangen. Nachdem alle 3 Varianten des Kreisverkehrs und 5 Varianten des Ingenieurbauwerks untersucht und verglichen wurden, wurde sich für den Kreisverkehr mit einem Durchmesser von 40.0 m und einem Kreismittelpunkt auf der Achse der B299 sowie das Ingenieurbauwerk mit Schrägflügeln, die mit Treppen direkt am Bauwerk ausgestattet werden, entschieden. (Erläuterungsbericht, p.19-21)

Unter Berücksichtigung der witterungsbedingten Unterbrechungen, wird die Ausführungsphase zwischen März und November 2022 stattfinden. Die Durchführung wird in 5 Bauphasen unterteilt. Während der Erstellung des Ingenieurbauwerks wird die B 299 zwischen Kevenhüller Straße und Ottmaringer Straße in beide Richtungen gesperrt, deswegen ist eine Umfahrung zur Verkehrsführung erforderlich. Die Umfahrung befindet sich an der Südwestseite des Kreisverkehrs. (Erläuterungsbericht, p.37)

5.2 BAP

Auf Grundlage der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) des Staatlichen Bauamtes wurde den BIM-Abwicklungsplan (BAP) vom Schüssler-Plan (Fachplaner für Verkehrsanlage) und Zilch+Müller Ingenieur (Fachplaner für Ingenieurbauwerk) erarbeitet. (Jaufmann et al. 2021)

➤ CDE

Die webbasierte Plattform „Squirrel“ wird als gemeinsame Datenumgebung (CDE) vom Staatlichen Bauamt Ingolstadt zur Verfügung gestellt. Alle fachlichen Teilmodelle und alle relevanten Dokumente werden auf dieser CDE hochgeladen und dienen einer modellbasierten Kollaboration mittels BIM-Collaboration-Formats (BCF). Folgende Abbildung 12 zeigt die groben Arbeitsschritte der Kollaboration mit allen Fachplanern über CDE:

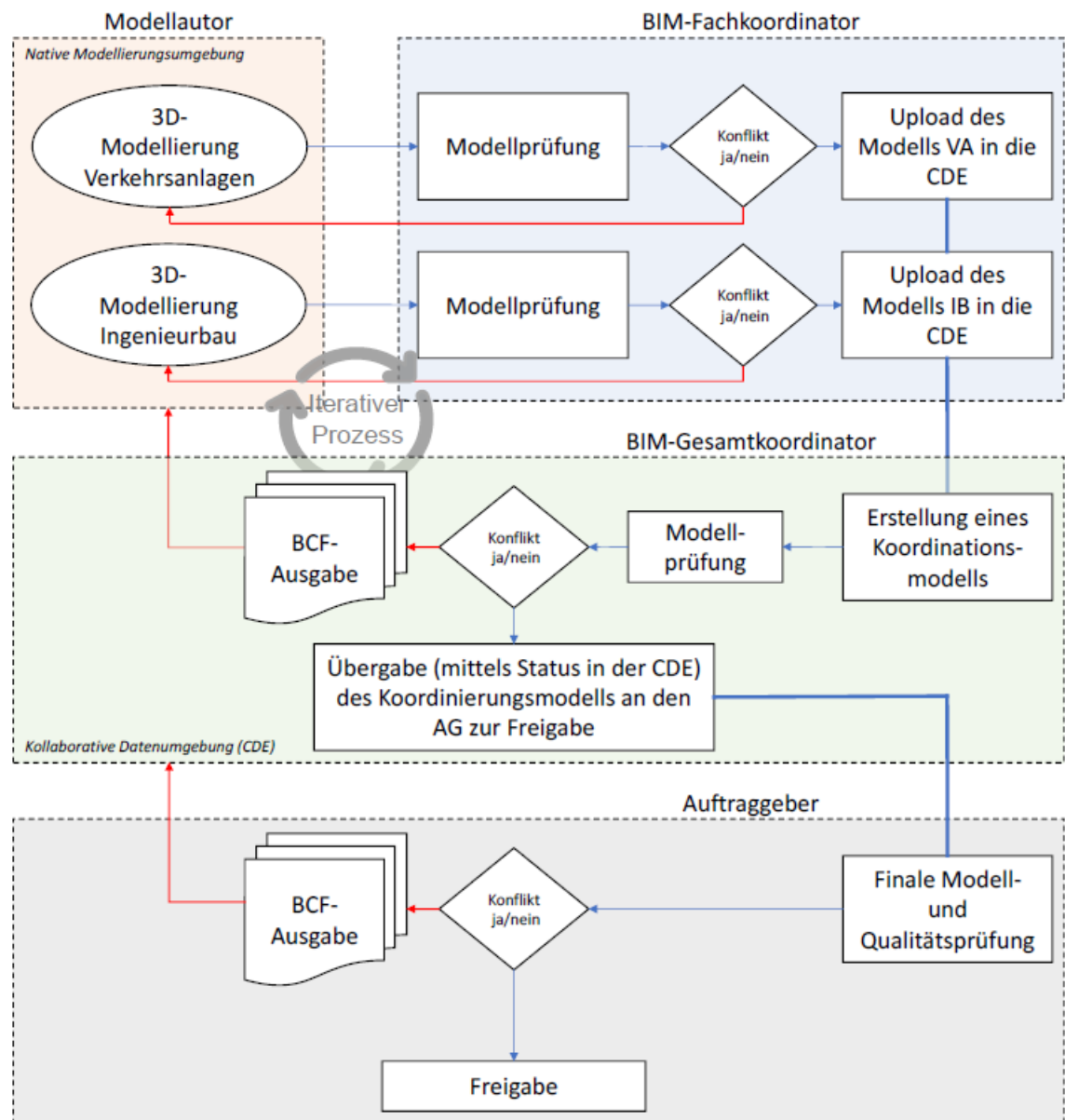


Abbildung 12 Arbeitsschritte (B299_BAP-V2_3)

➤ Datenaustauschformat

Die Teilmodelle werden im openBIM-Format IFC2X3 in der CDE zur Verfügung gestellt.

➤ LOD

Der Detaillierungsgrad (LOD) der Modelle wird in LoG (geometrische Informationen), LoI (semantische information), und LoA (Lagegenauigkeit) aufgeteilt. Folgende Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen die genauen Definitionen:

LoG: geometrische Detaillierung	
100	vereinfachte und gröbere Darstellung
200	Modellelement als Objekt mit ungefähren Mengen, Größe, Form, einfacher Volumenkörper und mit ungefährender Orientierung. Elemente als die Bauteile erkennbar
300	Modellelemente als Objekt mit genauen Mengen, Größe, Form, exakter Volumenkörper und mit genauer Orientierung.

Tabelle 7 Definition vom LoG (B299_BAP-V2_3)

LoA: Lagegenauigkeit	
10	Modellelemente mit einer sehr geringen Genauigkeit (Abweichung von 20 cm bis 5 cm)
20	Modellelemente mit einer geringen Genauigkeit (Abweichung von 5 cm bis 15 mm)
30	Modellelemente mit einer mittleren Genauigkeit (Abweichung von 15 mm bis 5 mm)

Tabelle 8 Definition vom LoA (B299_BAP-V2_3)

Folgende Tabelle 9 zeigt den Detaillierungsgrad der einzelnen Fachmodelle:

Fachmodelle	LOD	LoG	LoI	LoA
Bestand	100	100	100	10
DGM	100	100	100	10
Baugrund	100	100	100	10
Verkehrsanlagen	200, 300	200, 300	200, 300	20, 30
Objektplanung	200, 300	200, 300	200, 300	20,30

Tabelle 9 Detaillierungsgrad der einzelnen Fachmodellen

➤ Softwareansatz

Für die Verkehrsanlagen wird *ProVI* für die Erstellung des Teilmodells (Verkehrsanlagen) angewendet. *Autodesk Civil 3D* wird zur Verarbeitung von Vermessungsdaten und *Autodesk AutoCAD* zur Bereinigung und Anpassung der 2D-Grundlagen eingesetzt.

Für die Objektplanung wird *Autodesk Revit* für die Erstellung des Teilmodells (Ingenieurbauwerk) und *Dynamo* zur Hilfestellung bei der Erstellung des Teilmodells sowie *Autodesk Civil 3D* zum Einlesen von Trassierungsdaten und zur Erstellung von Böschung angewendet.

Desite MD wird als gesamte Koordinationsoftware verwendet, in der alle Teilmodelle zusammengefügt, die Kollisionsprüfungen der einzelnen Teilmodelle durchgeführt, sowie 4D- und 5D-Modelle erstellt werden.

Die für diese Masterarbeit verwendeten Software sind *Desite MD* und *MS Project*. Der Bauzeitenplan wird in *MS Project* erstellt. In *Desite MD* werden die Teilmodelle zusammengefügt und das 4D-Modell sowie die Bauablaufsimulation erstellt.

5.3 Aufgabestellung

Im Rahmen dieser Arbeit soll das Thema „modellbasierte Bauablaufplanung und Bauablaufsimulation“ aufbereitet werden. Mit den in der Bayerischen Staatsbauverwaltung vorhandenen Tools *Desite MD* und *MS Project* soll ein Bauablaufmodell in *Desite MD* für den BIM-Anwendungsfall „Terminplanung der Ausführung“ erstellt werden. Um das Bauablaufmodell bzw. die Bauablaufsimulation erstellen zu können soll ein Bauzeitenplan für das Beispielprojekt in *MS Project* erstellt werden. Dabei soll insbesondere dargestellt und dokumentiert werden, welche geometrischen Genauigkeitsanforderungen und Informationsanforderungen an das Bauzeitmodell zu stellen sind und wie die Umsetzung in der Software-Umgebung erfolgen kann. Schließlich soll eine 3D Bauablaufsimulation in Form eines Videos erstellt werden.

5.4 Problematik

Ein erhebliches Problem am Anfang war die Einteilung des Trassenmodells in *ProVi*. Die Modellobjekte liegen in unterschiedlichen Bauphasen und das Modell kann damit nicht unmittelbar herangezogen werden. Die Geometrien müssen geschnitten werden, um sie ihren Bauphasen zuzuweisen. Die Einteilung in *ProVi* wäre möglich, aber sie wäre mit erheblichem Aufwand verbunden. Der Lösungsansatz besteht darin, in *Desite MD* Schnittlinien zu setzen, um die Objekte aufzubrechen. Die genaue Vorgehensweise mit *Desite MD* befindet sich im Kapitel 5.5.2.

Eine andere Herausforderung ist die Erstellung des Bauzeitenplans. Die Bauausführung wurde nur grob mit einem Bauphasenplan dargestellt. Der genaue Bauzeitenplan

soll auf Basis des Bauphasenplans und anhand der Bauwerksstruktur des Modells erstellt werden. Die genaue Vorgehensweise befindet sich im Kapitel 5.5.3.

5.5 Prozess

Zunächst werden alle Teilmodelle vom CDE als IFC-Daten heruntergeladen und in *Desite MD* zum Gesamtkoordinationsmodell zusammengefügt. Nach der Herstellung des Bauzeitenplans werden die einzelnen Vorgänge mit den entsprechenden Modellobjekten manuell verknüpft. Danach wird der Bauablauf durch 4D-Konfigurationsregeln visualisiert. Durch die Visualisierung kann der Bauzeitenplan bzw. die Bauabfolge erneut geprüft and angepasst werden. Nach den mehrmaligen Anpassungen sollte der Bauablauf so plausibel wie möglich sein, und die Simulation ist dann bereit für den Export. Der gesamte Prozess, mit Ausnahme des Bauzeitenplans, wird mit *Desite MD* durchgeführt. Folgende Abbildung 13 zeigt die schematische Darstellung der Prozesse:

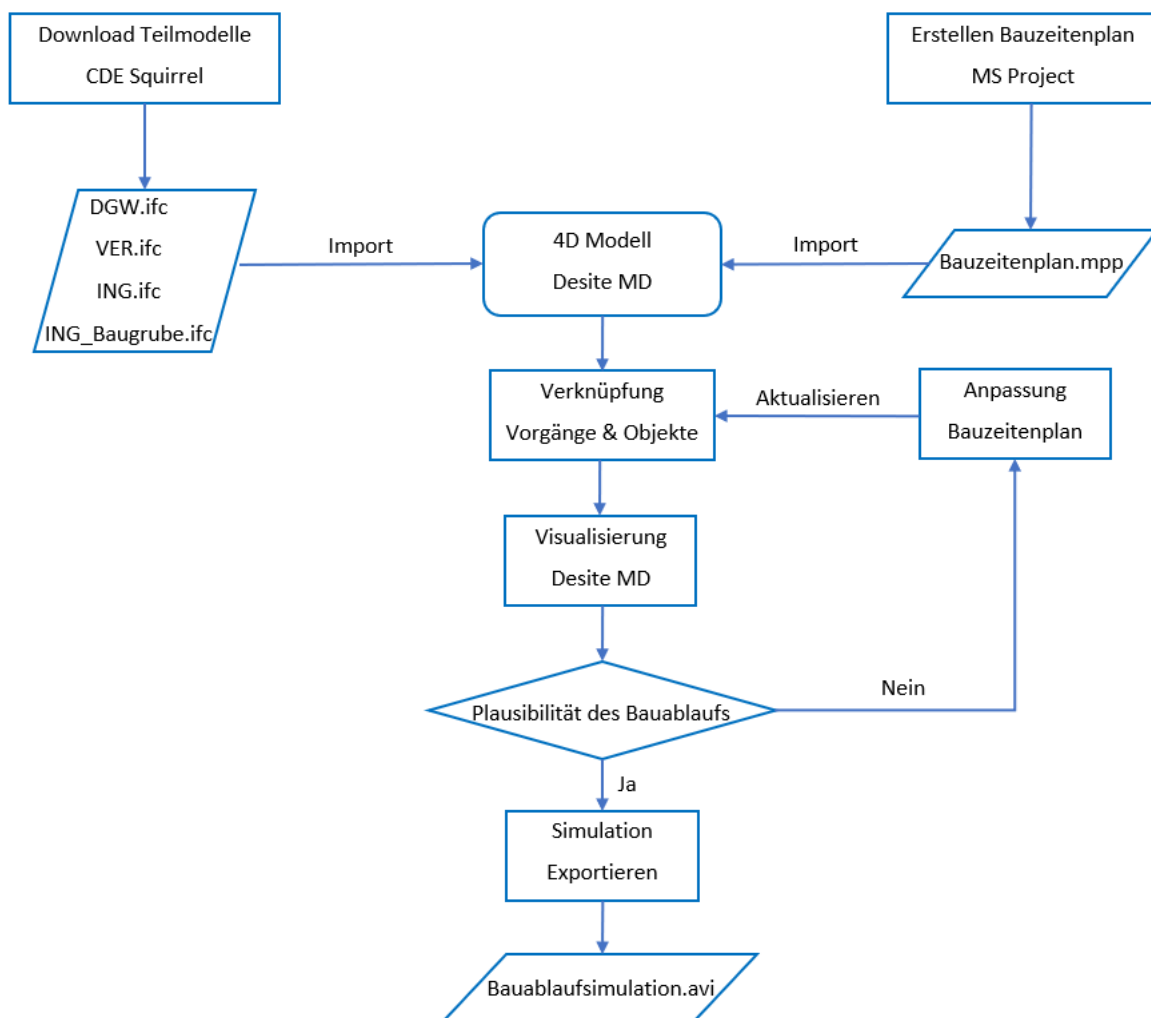
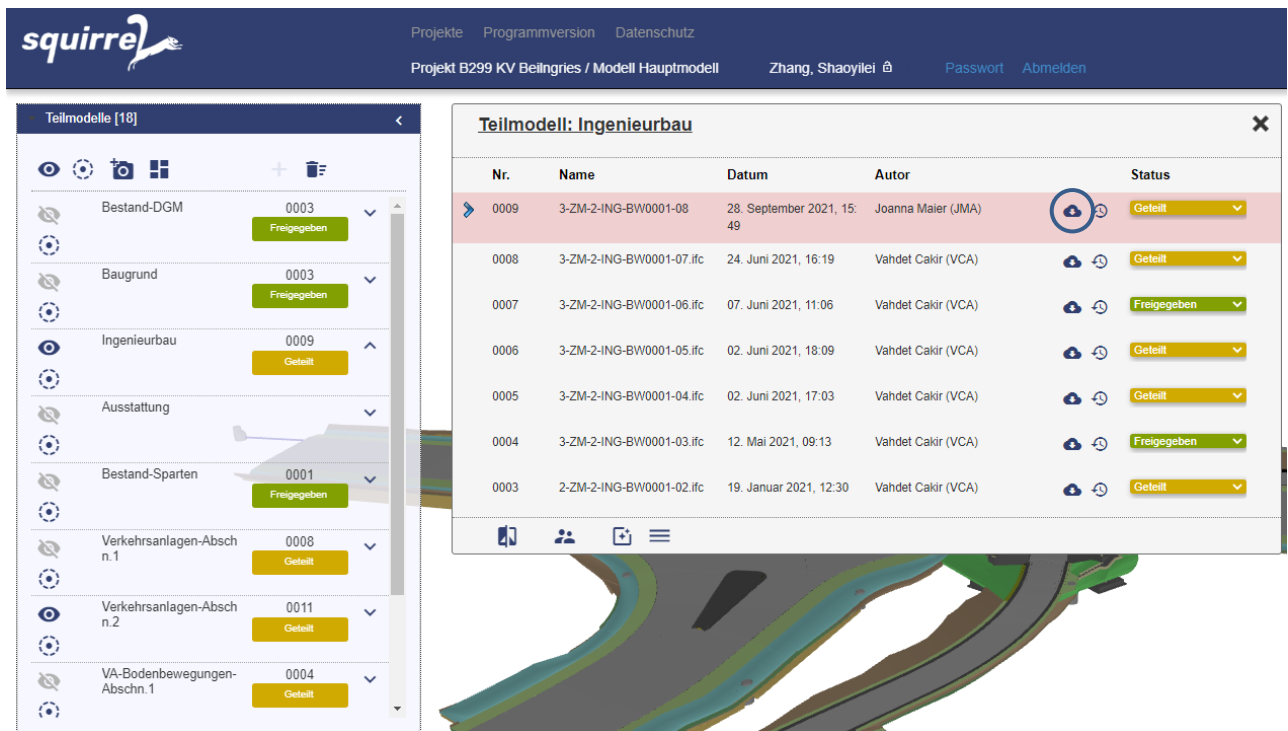


Abbildung 13 Prozessdiagramm

5.5.1 Vorbereitung des Gesamtkoordinationsmodells

Alle Teilmodelle wurden bereits auf CDE *Squirrel* zur Verfügung gestellt und können heruntergeladen werden. Die für diese Masterarbeit relevanten Teilmodelle sind: Bestand-DWG, Ingenieurbau, Ingenieurbau-Baugrube und Verkehrsanlagen-Abschnitt 2. Die folgende Abbildung 14 zeigt die Benutzeroberfläche von *Squirrel* und alle Teilmodelle sowie ihre verschiedenen Versionen. Durch Klicken der Schaltfläche "Herunterladen" werden die Modelle als IFC-Daten heruntergeladen:



The screenshot displays the Squirrel software interface. The top navigation bar includes the Squirrel logo, project information (Projekt B299 KV Beilngries / Modell Hauptmodell), user name (Zhang, Shaoyilei), and options for password and logout. The main interface is divided into two panels. The left panel, titled 'Teilmodelle [18]', lists various sub-models with their IDs and status buttons (Freigegeben or Geteilt). The right panel, titled 'Teilmodell: Ingenieurbau', shows a detailed table of sub-model versions.

Nr.	Name	Datum	Autor	Status
0009	3-ZM-2-ING-BW0001-08	28. September 2021, 15:49	Joanna Maier (JMA)	Geteilt
0008	3-ZM-2-ING-BW0001-07.ifc	24. Juni 2021, 16:19	Vahdet Cakir (VCA)	Geteilt
0007	3-ZM-2-ING-BW0001-06.ifc	07. Juni 2021, 11:06	Vahdet Cakir (VCA)	Freigegeben
0006	3-ZM-2-ING-BW0001-05.ifc	02. Juni 2021, 18:09	Vahdet Cakir (VCA)	Geteilt
0005	3-ZM-2-ING-BW0001-04.ifc	02. Juni 2021, 17:03	Vahdet Cakir (VCA)	Geteilt
0004	3-ZM-2-ING-BW0001-03.ifc	12. Mai 2021, 09:13	Vahdet Cakir (VCA)	Freigegeben
0003	2-ZM-2-ING-BW0001-02.ifc	19. Januar 2021, 12:30	Vahdet Cakir (VCA)	Geteilt

Abbildung 14 Teilmodelle im CDE *Squirrel*

Nach dem Download der Teilmodelle im IFC-Format, können die vier IFC-Daten des jeweiligen Teilmodells in *Desite MD* importiert werden. Der Import kann durch einfaches Ziehen der IFC-Daten in *Desite MD* oder durch Öffnen des Anwendungsmenüs und Klicken auf „Dokument / 3D-Modell / Terminplan ... hinzufügen“ erfolgen. Folgende Abbildung 15 zeigt das Anwendungsmenü von *Desite MD*:

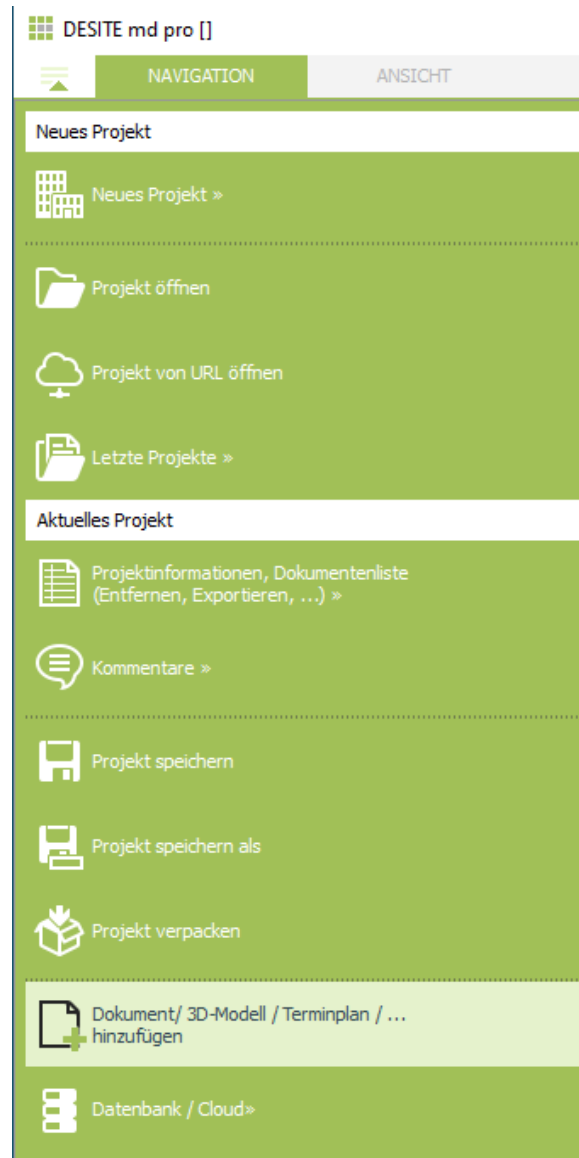


Abbildung 15 Anwendungsmenü von Desite MD

Nach dem Import aller vier Teilmodelle wird das Gesamtkoordinatenmodell als Basis für das spätere 4D-Modell erstellt.

5.5.2 Einteilung der Verkehrsanlagen in Desite MD

Nach dem vorliegenden Bauphasenplan (siehe Anhang F) soll die Kreisverkehrsanlage in zwei Teile entlang des Trägerbohlwand-Verbaus aufgeteilt werden. Der rechte Teil wird in Bauphase 1 nach der Fertigstellung des Ingenieurbauwerks und der linke Teil in Bauphase 2 eingebaut. Die Einteilung des Trassenmodells wird in *Desite MD* mit der Funktion „Teilen“ bearbeitet.

Die Funktion „Teilen“ befindet sich im Reiter „Werkzeug“, siehe Abbildung 16:

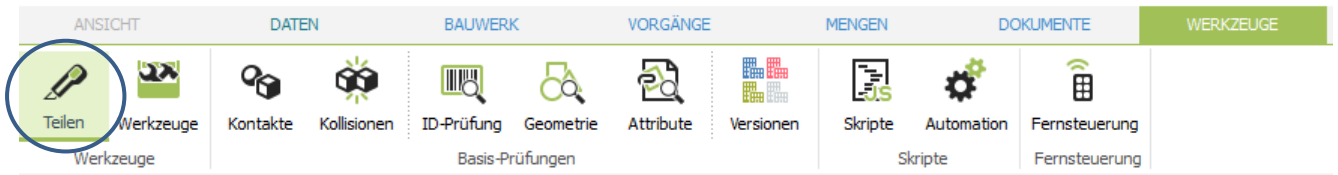


Abbildung 16 Funktion „Teilen“

Zunächst wird das zu zerteilende Objekt im Modell ausgewählt, aber in vorliegenden Fall werden mehrere Objekte eingeteilt. Deswegen ist es wichtig, alle relevanten Objekte auf einmal auszuwählen, damit die Schnittlinie für alle Objekte sauber und konsistent ist. Folgende Abbildung 17 zeigt die ausgewählten zu zerteilenden Objekte:

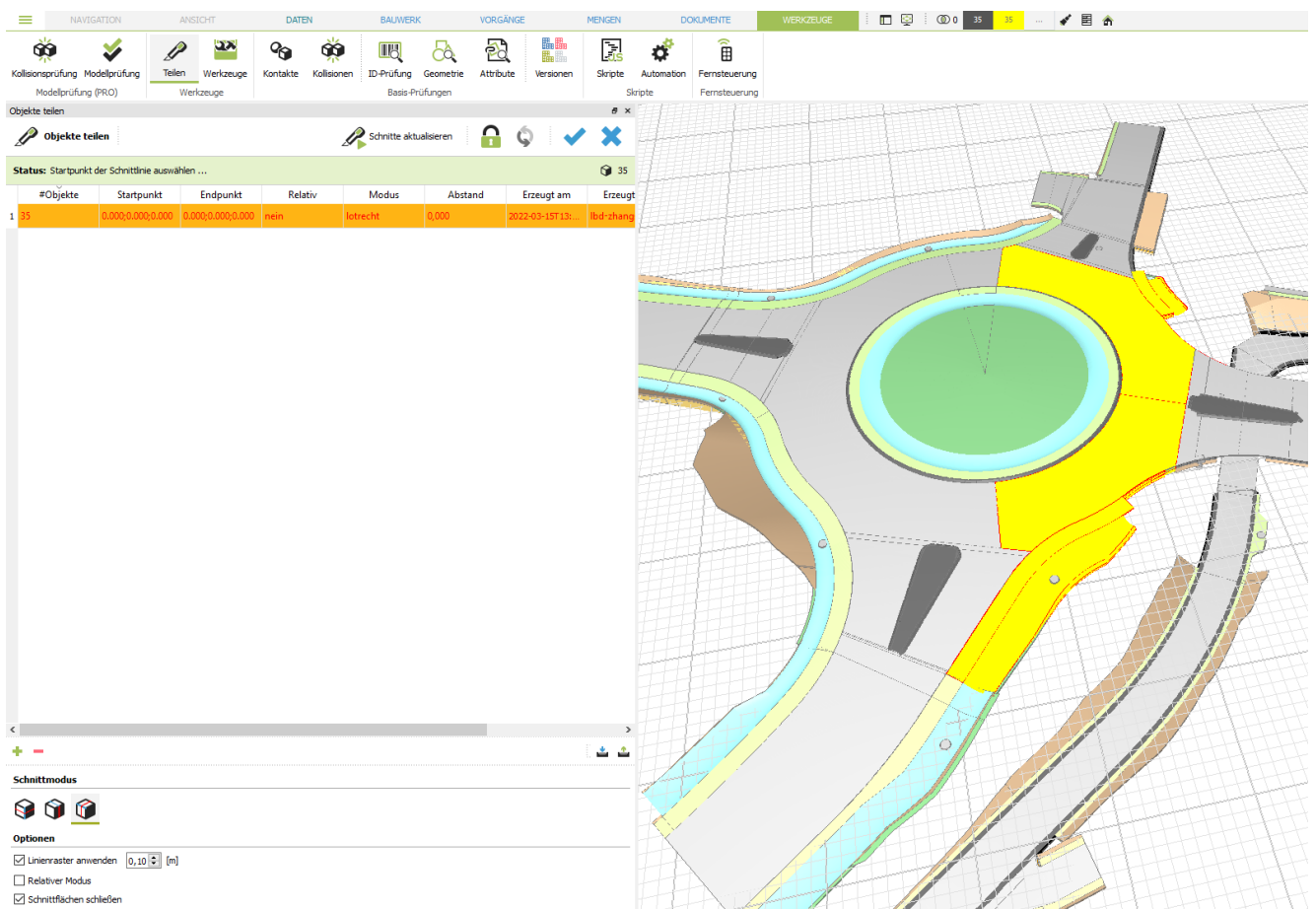


Abbildung 17 Ausgewählte zu zerteilende Objekte

Danach werden Anfangs- und Endpunkte der Schnittlinie festgelegt werden. Durch Klicken des Anfangs- und Endpunktes, an denen die Schnittlinie verlaufen soll, werden der Anfangs- und Endpunkt mit einem roten x markiert, und die entstehende Schnittstrecke wird blau markiert, siehe Abbildung 18:

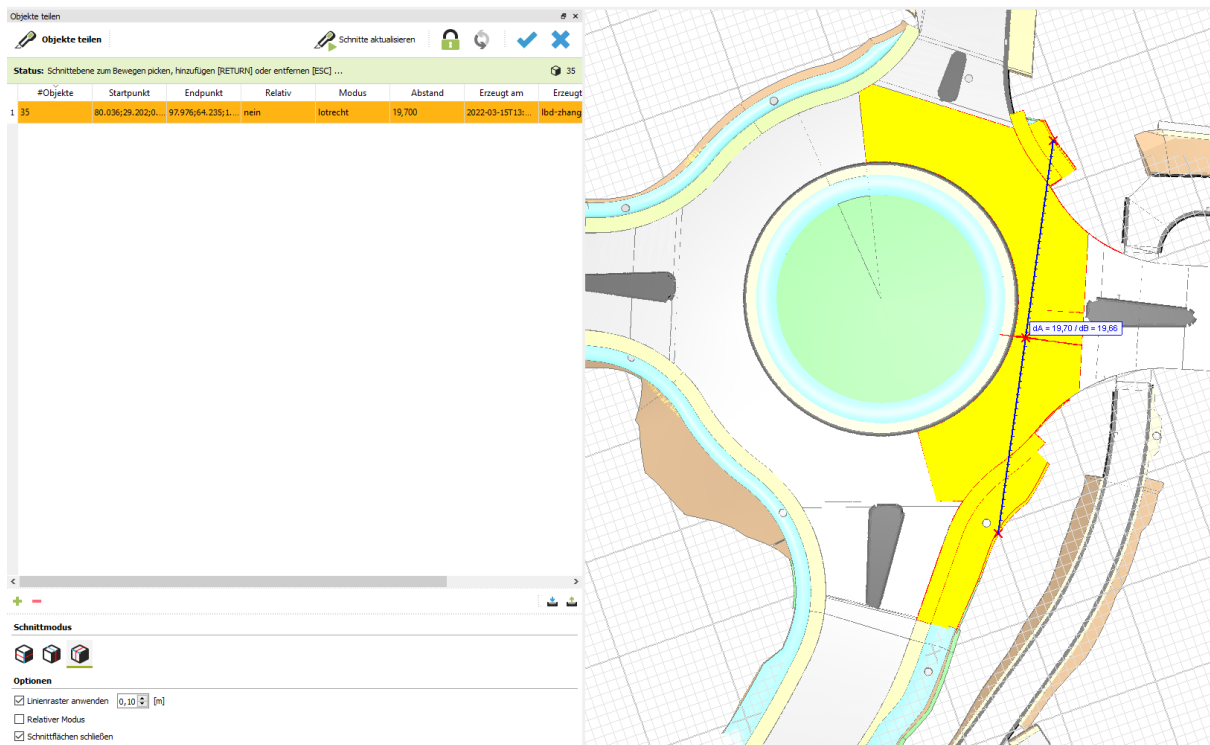


Abbildung 18 Anfangs- und Endpunkte

Die Schnittfläche kann durch Auswählen des entsprechenden Schnittmodus entweder horizontal zur Hilfslinie, vertikal zur Schnittstrecke oder senkrecht zur Schnittstrecke erstellt werden. In diesem Fall wird der Schnittmodus „vertikal“ ausgewählt, siehe Abbildung 19:

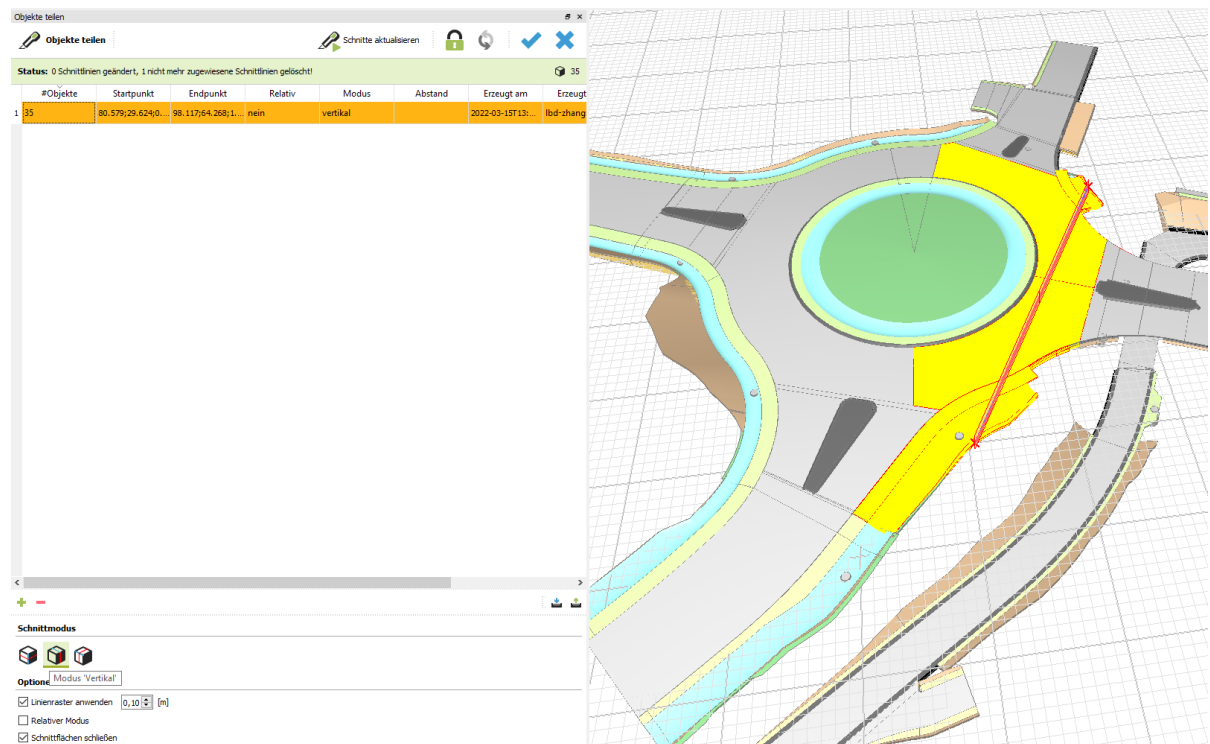


Abbildung 19 Schnittmodus „vertikal“

Danach werden durch das Klicken auf "Schnitt aktualisieren" die ausgewählten Objekte durch die Schnittfläche geschnitten. Folgende Abbildung 20 zeigt die zerlegte Kreisverkehrsanlage und als Beispiel wird das Objekt "Deckschicht" in zwei Teile geschnitten:

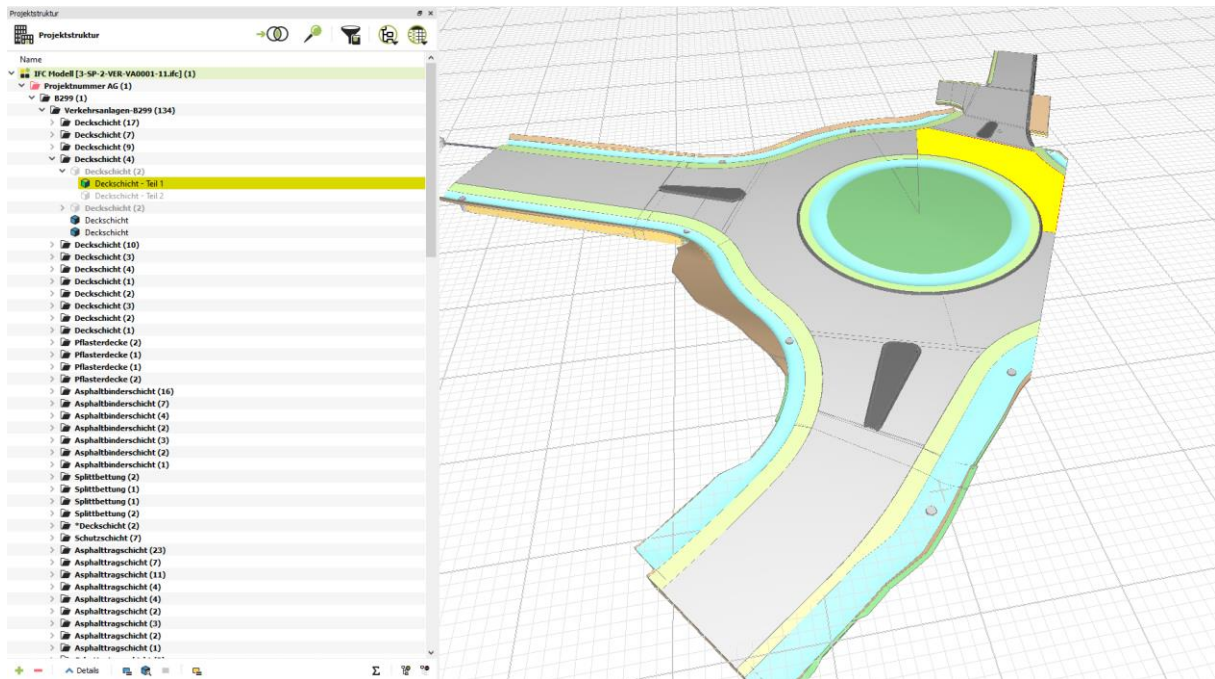


Abbildung 20 zerteilendes Objekt

Nach der Aufteilung sind die IDs der zerteilenden Objekte gleich wie zuvor aber nur mit der Nummer am Ende, siehe folgende Abbildung 21:

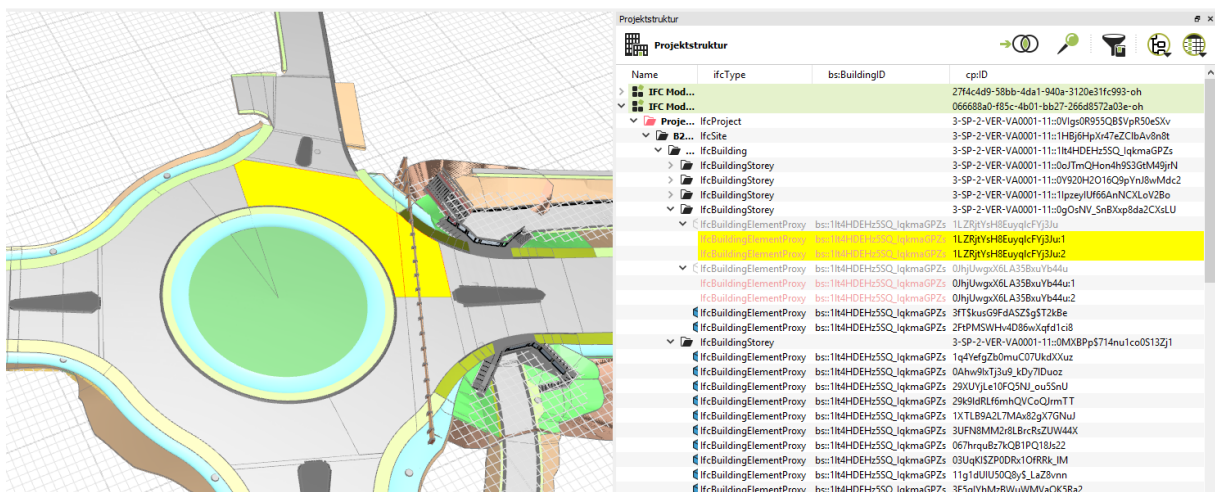


Abbildung 21 IDs der zerteilenden Objekte

Aber wenn die zerteilenden Objekte wieder zusammengefügt werden, wird ein neue ID dazu entstanden, siehe folgende Abbildung 22:

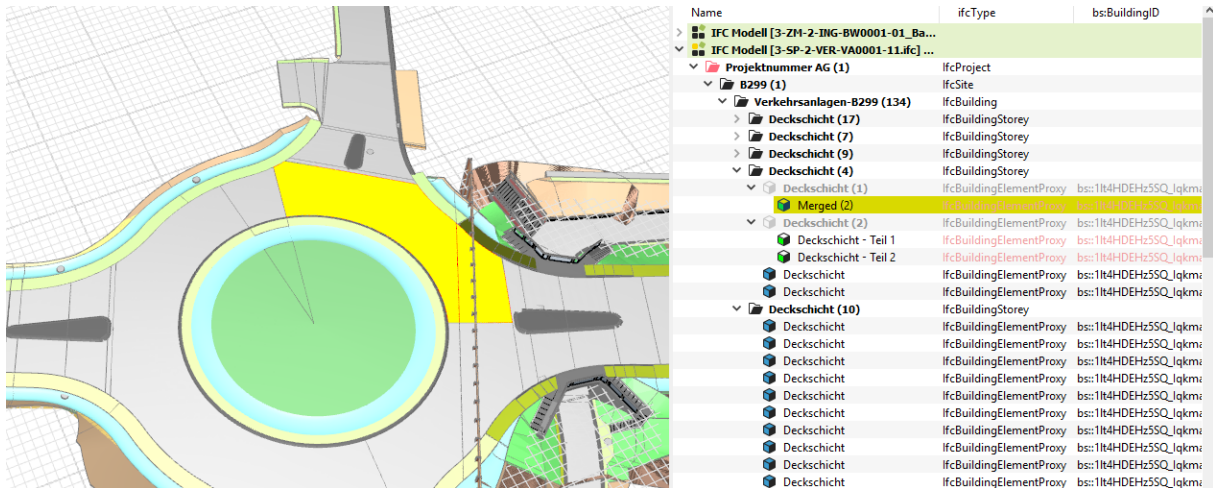


Abbildung 22 ID des zusammengeführten Objektes

Die Schnittlinie wurde ursprünglich entlang des Trägerbohlwand-Verbaus gesetzt, was in der Bauausführung nicht realistisch ist, weil die Straße bei der Herstellung nicht bis an die Trägerbohlwand asphaltiert werden kann. Ein Abstand ist daher erforderlich. Deshalb wird die Schnittlinie ein Stück nach links von der Trägerbohlwand verschoben. Folgende Abbildung 23 zeigt die Schnittlinie und die Trägerbohlwand:

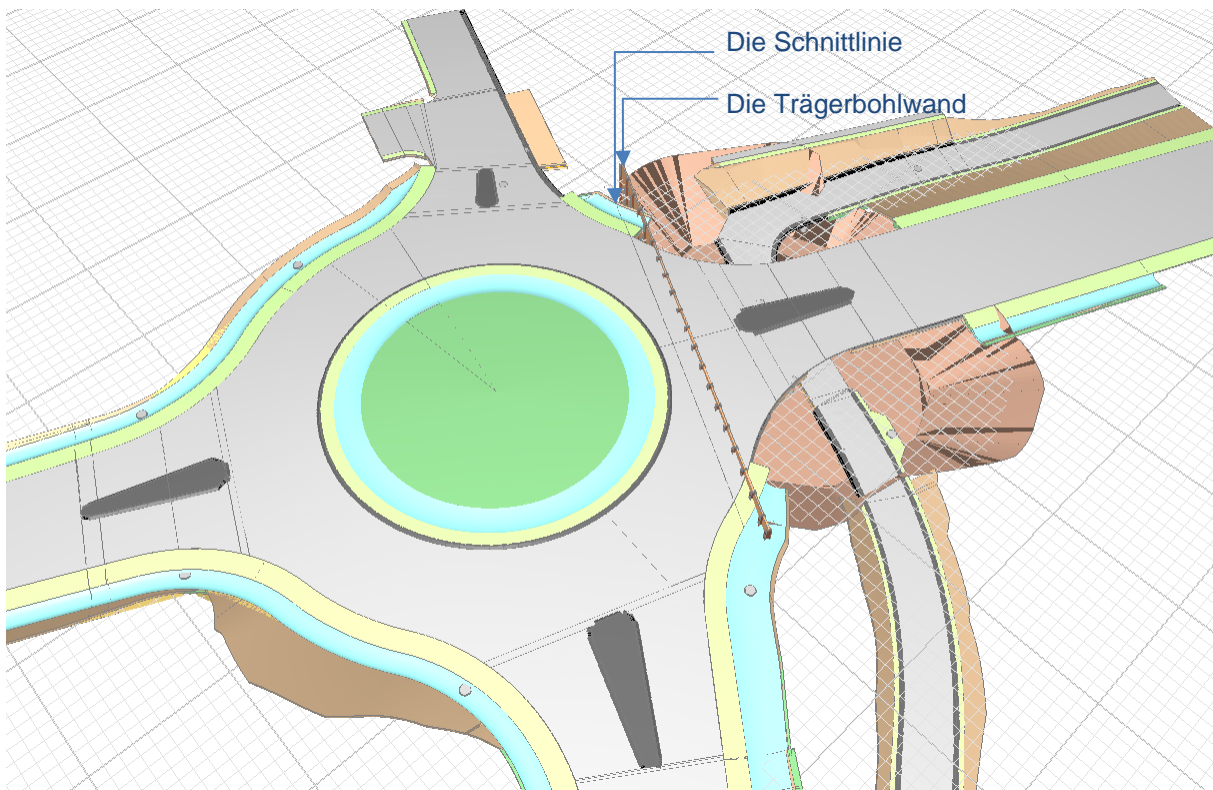


Abbildung 23 Schnittlinie

Es gibt jedoch einige Einschränkungen von der Funktion „Teilen“:

- Die Schnittlinie kann nur innerhalb von zwei Punkten festgelegt werden, was bedeutet, dass gebogene Schnittlinien oder komplexere Schnittlinien nicht möglich sind.
- Die Schnittfläche kann entweder nur vertikal oder horizontal oder senkrecht zur Schnittlinie eingestellt werden. Eine Schnittfläche mit einem bestimmten Winkel ist nicht möglich.

5.5.3 Erstellen des Bauzeitenplans in MS Project

Der Bauzeitenplan wird entsprechend dem Bauphasenplan (siehe Anhang F) und dem Kapitel 9 „Durchführung der Baumaßnahme“ des Erläuterungsberichts (Erläuterungsbericht, S.38 - 40) erstellt. Laut des Erläuterungsberichts wird die Durchführung der Baumaßnahmen in fünf Phasen aufgeteilt:

- **Bauphase 0:**
In dieser Vorbereitungsphasen wird der Fahrbahnteiler in der Kevenhüller Straße rückgebaut und als provisorische Fahrbahn hergestellt. Gleichzeitig wird der südwestliche Erdwall für spätere Umfahrung abgetragen. Die Bauzeit beträgt voraussichtlich eine Woche.
- **Bauphase 1:**
In dieser Bauphase wird zuerst das alte Ingenieurbauwerk zurückgebaut und danach das neue Ingenieurbauwerk eingebaut. Gleichzeitig erfolgt die Herstellung der provisorischen Baustellenumfahrung. Die B299 wird zwischen Kevenhüller Straße und Ottmariger Straße gesperrt. Die Bauzeit beträgt voraussichtlich 19 Wochen.
- **Bauphase 2:**
Bauphase 2 wird ca. 16 Woche vor Fertigstellung des Ingenieurbauwerks beginnen, bzw. beginnt Bauphase 2 drei Wochen nach Bauphase 1 und die beide Phasen verlaufen parallel. In dieser Bauphase wird der Kreisverkehr sowie der nördliche Anschluss im Oehl und der östliche Anschluss der B299 hergestellt. Die Geh- und Radwegunterführung und die bestehende Kreuzung werden gesperrt und der Verkehr wird von Süden durch die Kevenhüller Straße zur Umfahrung auf den östlichen Teil der B299 geführt. Die Bauzeit beträgt voraussichtlich 16 Wochen.
- **Bauphase 3:**

In dieser Bauphase wird der südliche Anschluss hergestellt und die Baustellenumfahrung zurückgebaut und der Erdwall errichtet. Die Sperrung der B299 und der Geh- und Radwege wird aufgehoben, und nur die Kevenhüller Straße vor dem Knotenpunkt wird gesperrt. Die Bauzeit beträgt voraussichtlich drei Wochen.

- **Bauphase 4:**

In dieser Bauphase wird der westliche Anschluss hergestellt. Gleichzeitig wird die asphaltierte Kreisinsel rückgebaut und die Randausbildung hergestellt. Die B299 östlich vom Kreisverkehr wird erneut gesperrt. Die Bauzeit beträgt voraussichtlich drei Wochen.

Am Anfang wird nur die Abfolge berücksichtigt, die genauen Termine werden danach festgelegt. Durch die Darstellung der jeweiligen Bauphasen wird zuerst ein sehr grober Bauablaufplan mit Teilaufgaben und Meilensteinen in Excel erstellt. Folgende Abbildung 24 zeigt den Bauablaufplan:

Type	Beschreibung	AT	Anfang	Ende
P	Bauphase 0	5	01.03.2022	07.03.2022
TA	Rückbau Fahrbahnteiler			
TA	Herstellung provisorische Fahrbahn			
TA	Rückbau Erdwall SW			
M	Fertigstellung Rückbau		07.03.2022	07.03.2022
P	Bauphase 1 (Sperrung B299)	95	08.03.2022	18.07.2022
TA	Herstellung provisorische Baustellenumfahrung			
TA	Rückbau IB			
TA	Baugrube u. Verbau neues IB			
TA	Gründung			
TA	Unterbau			
TA	Überbau			
M	Fertigstellung IB		18.07.2022	18.07.2022
P	Bauphase 2 (Sperrung B299 und Geh- und Radweg)	80	29.03.2022	18.07.2022
TA	Kreisverkehr			
TA	Anschluss Nord			
TA	Anschluss Ost			
TA	Geh- und Radwegunterführung			
M	Kreisverkehr fertig		18.07.2022	18.07.2022
P	Bauphase 3 (Sperrung KevenhüllerSr. Vor Kreisverkehr)	15	19.07.2022	08.08.2022
TA	Anschluss Süd			
TA	Rückbau Umfahrung			
TA	Einrichtung Erdwall SW			
M	Fertigstellung Rückbau IB		08.08.2022	08.08.2022
P	Bauphase 4 (Sperrung B299)	15	09.08.2022	29.08.2022
TA	Anschluss West			
TA	Rückbau der asphaltierten Kreisinsel			
TA	Herstellung Randausbildung am Innenkreis			
M	Fertigstellung gesamt Umbau		29.08.2022	29.08.2022

Abbildung 24 grober Bauablauf mit Teilaufgaben und Meilensteinen

Aber dieser Bauablaufplan ist sehr grob und der Detaillierungsgrad ist nicht so hoch wie der Detaillierungsgrad des Modells, daher ist die schrittweise Verfeinerung des Bauablaufplans entsprechend der Modellelemente erforderlich. Gemäß der Modellelemente wird jeder Vorgang der einzelnen Objekte erstellt und zu jeder Teilaufgabe hinzugefügt. Dadurch wird der Bauablaufplan gemäß der Bauwerkstruktur einen Schritt detaillierter.

Folgende Abbildung 25 zeigt den detaillierten Bauablaufplan für Bauphase 1:

Type	Beschreibung	AT	Anfang	Ende
P	Bauphase 0	5	01.03.2022	07.03.2022
TA	Rückbau Fahrbahnteiler			
TA	Herstellung provisorische Fahrbahn			
TA	Rückbau Erdwall SW			
M	Fertigstellung Rückbau		07.03.2022	07.03.2022
P	Bauphase 1 (Sperrung B299)	95	08.03.2022	18.07.2022
TA	Herstellung provisorische Baustellenumfahrung			
TA	Rückbau IB			
V	Baustelleinrichtung IB			
V	Rückbau IB			
TA	Baugrube u. Verbau neues IB			
V	Baugrube			
V	Träger			
V	Verpressanker			
V	Ausfachung			
TA	Gründung			
V	Geschossdecke			
V	Bodenplatte			
V	Frostschutzschicht			
V	Wasserleitung			
TA	Unterbau			
V	Widerlager			
V	Flügel			
V	Voute			
V	Winkelstein			
V	Leuchte			
TA	Überbau			
V	Rahmendecken			
V	Kappe			
V	Bankett			
V	Schrammboard			
V	Schürze			
V	Böschung			
V	Mulde			
V	Wange			
V	Treppe			
V	Geländern			
V	Drahtgitter			
M	Fertigstellung IB		18.07.2022	18.07.2022

Abbildung 25 detaillierte Bauablaufplan

Nach der Festlegung der Bauabfolge werden die Termine der einzelnen Prozesse intern anhand der bisherigen Erfahrungswerte und der Gesamtdauer der jeweiligen Bauphasen bestimmt. Gleichzeitig erfolgt die Vorprüfung der Bauabfolge gemäß den Erfahrungen. Dann wird ein detaillierter Bauzeitenplan in MS Project erstellt. Durch die Verknüpfung des Bauzeitenplans und 3D-Modells (siehe Kapitel 5.5.4) sowie durch die 4D-Konfigurationen (siehe Kapitel 5.5.5) kann der Bauablauf visualisiert werden, um die Plausibilität des Bauablaufs wieder zu prüfen. Dann kann der Bauzeitenplan angepasst und erneut simuliert werden, bis die Bauablaufsimulation plausibel genug ist. Der finale Bauzeitenplan befindet sich im Anhang G.

5.5.4 Verknüpfung der Vorgänge mit den Objekten

Zunächst wird der im Kapitel 5.5.3 erstellte Bauzeitenplan in Desite MD importiert. Der Prozess ist derselbe wie beim Importieren von IFC-Dateien im Kapitel 5.5.1 durch das Anwendungsmenü in der Abbildung 15. Die Änderung des Datenformats zur „MS Project (*.mpp)“ ist notwendig, siehe Abbildung 26:

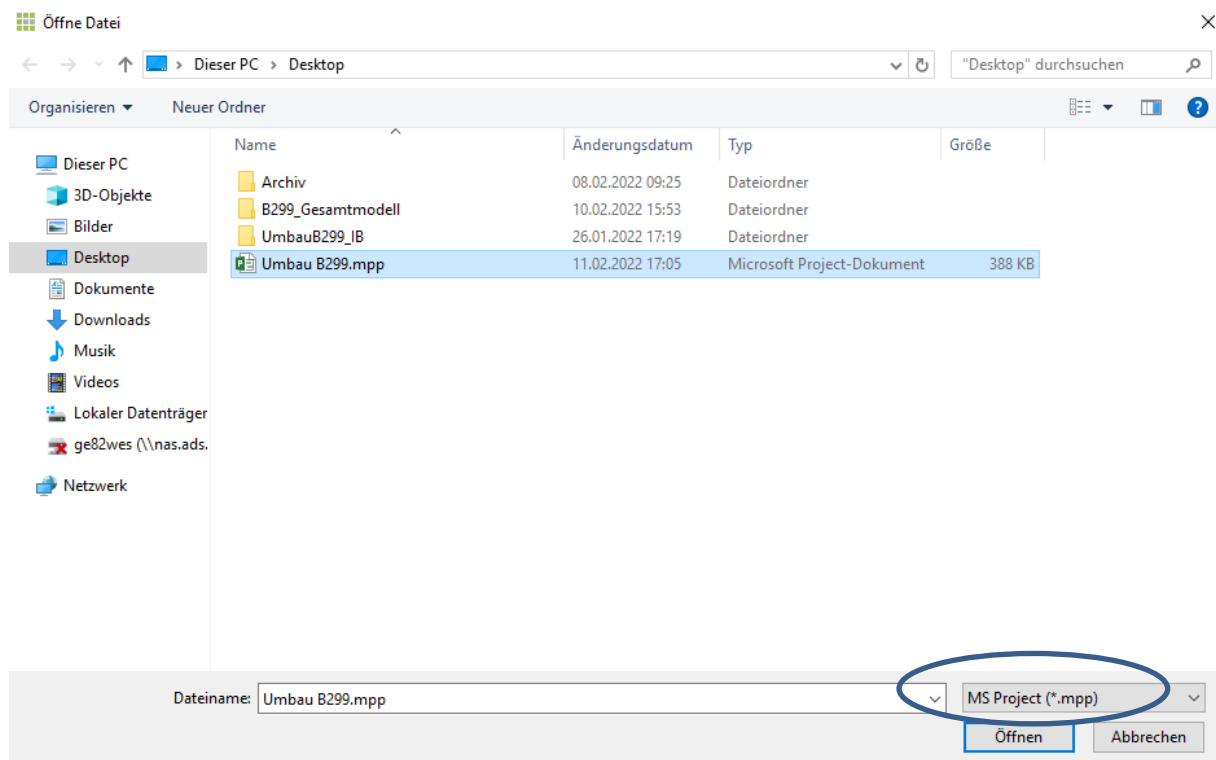


Abbildung 26 Datenformat MS Project (*.mpp) auswählen

Nach dem Import wird der Bauzeitenplan im Reiter "Vorgänge" im Fenster „Vorgänge“ angezeigt, siehe Abbildung 27:



Abbildung 27 Reiter Vorgänge, Fenster Vorgänge

Die Verknüpfung der Vorgänge mit den Objekten erfolgt durch manuelle Zuweisung. Der Aufwand für den manuellen Verknüpfungsprozess beträgt ca. 3 Arbeitstage, d.h. ca. 20 Stunden.

Zunächst wird der Projektstrukturplan im Reiter "Bauwerk" und im Fenster "Projekt", in dem alle Modellelemente aufgelistet sind, geöffnet. Folgende Abbildung 28 zeigt den Projektstrukturplan:

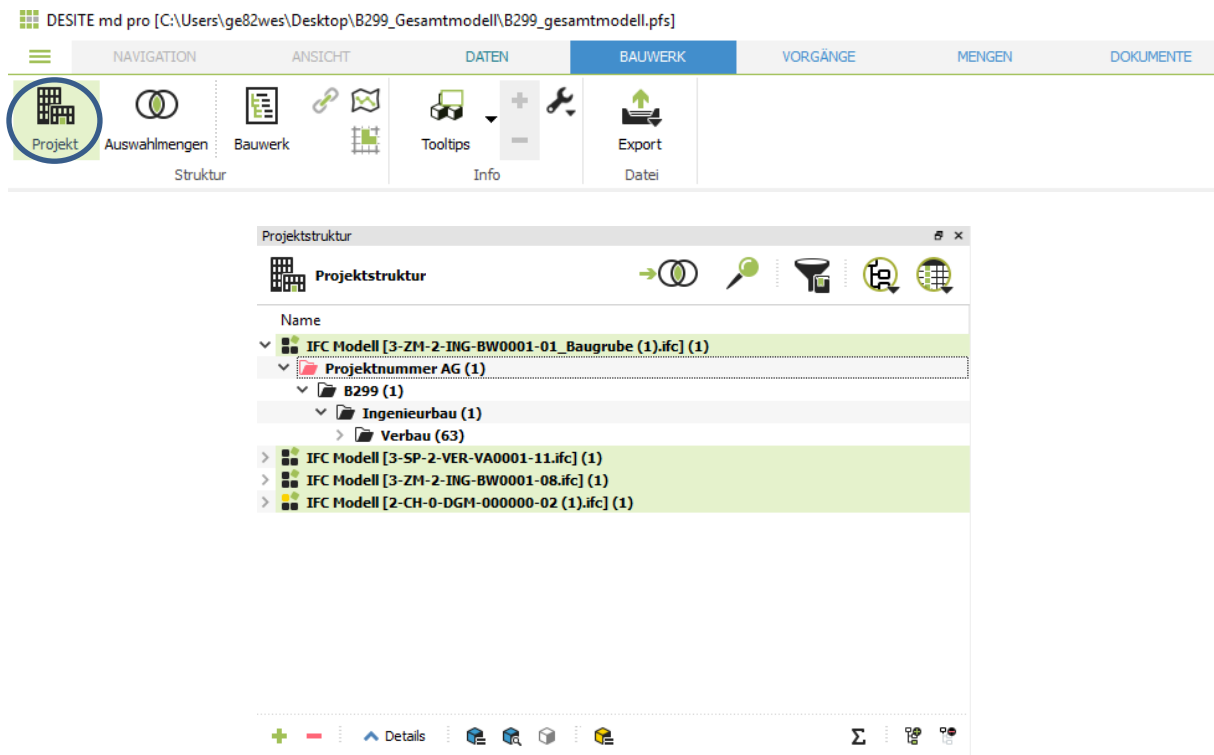


Abbildung 28 Projektstrukturplan

Für jeden Vorgang müssen zunächst die entsprechenden Objekte selektiert und dann zum Vorgang hinzugefügt werden. Das geschieht durch Rechtsklick der Maustaste beim Vorgang und Klicken auf „Selektierte Objekte den Vorgängen hinzufügen“, siehe Abbildung 29:

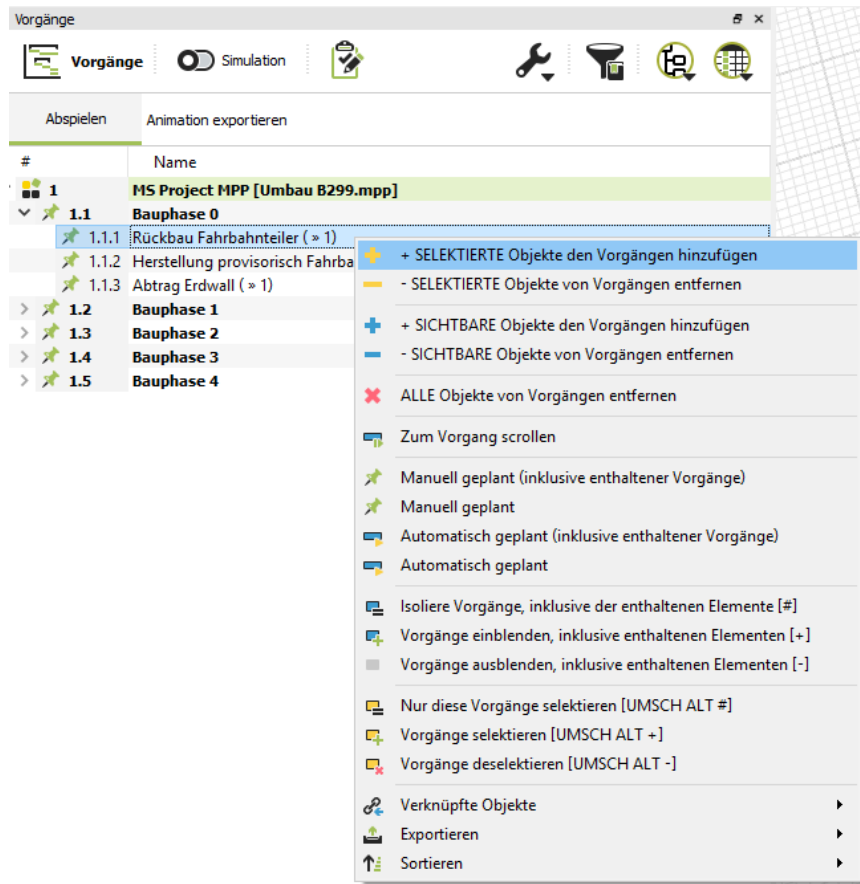


Abbildung 29 Selektierte Objekte den Vorgängen hinzufügen

Nachdem alle Objekte mit den entsprechenden Vorgängen verknüpft sind, können die verknüpften Objekten selektiert und durch Rechtsklick der Maustaste beim Vorgang und Klicken auf „Verknüpfte Objekte“ geprüft werden, siehe Abbildung 30:

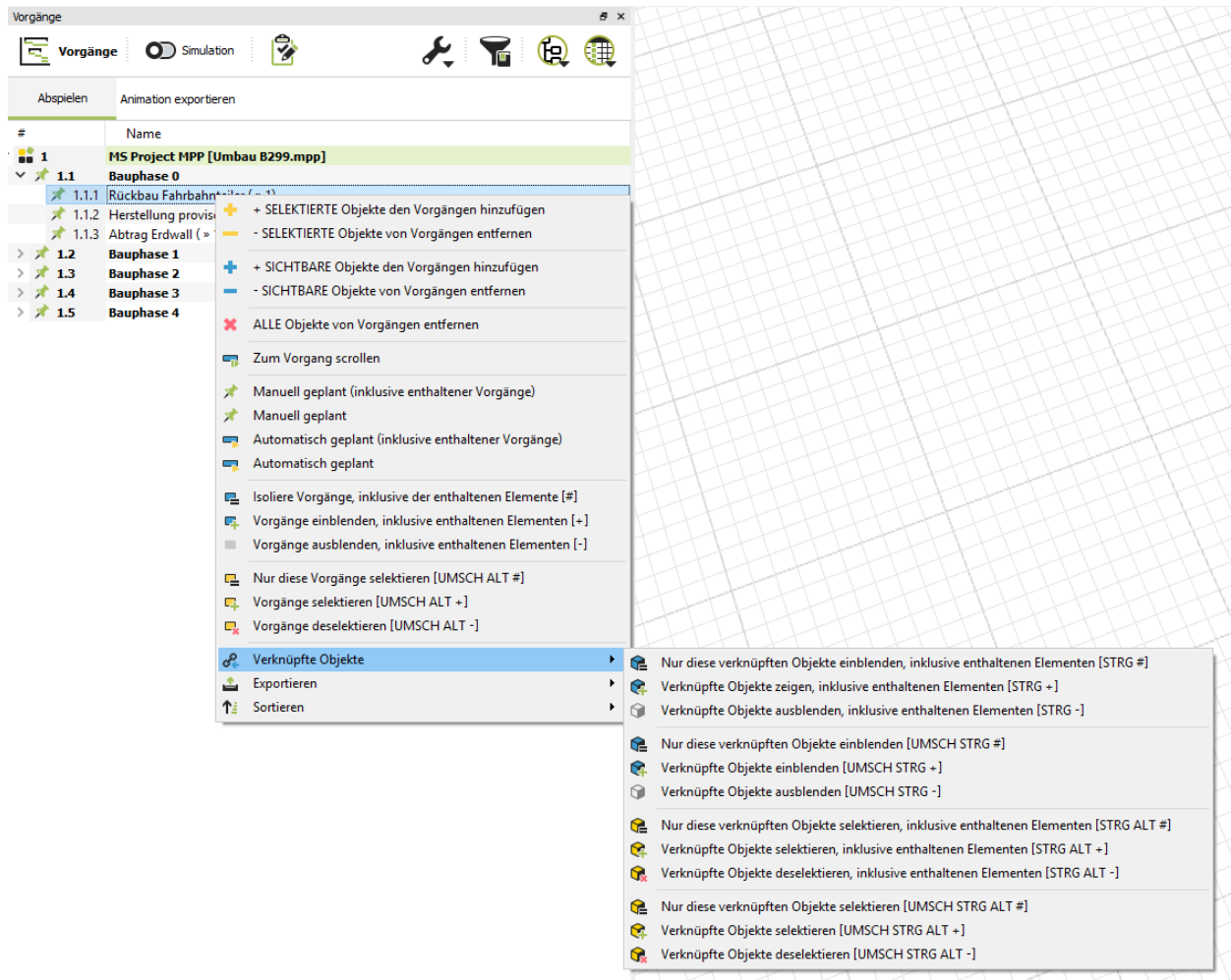


Abbildung 30 Verknüpfte Objekte

5.5.5 Visualisierung und Simulation

Nach der erfolgreichen Verknüpfung der Vorgänge mit den Objekten, wird die Visualisierung nach Bedarf regelbasierte konfiguriert. Das Fenster „Visualisierung“ befindet sich auch im Reiter „Vorgänge“, siehe Abbildung 31:

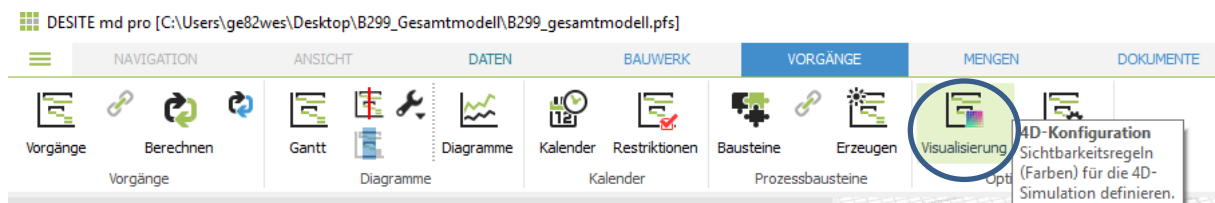


Abbildung 31 Fenster „Visualisierung“

Die neue Visualisierungsregel kann durch Klicken auf „+“ hinzugefügt und eingestellt werden. In diesem Fall werden vier Regeln eingestellt, siehe Abbildung 32:

Konfiguration 4D

Konfiguration 4D-Visualisierung

Für sichtbare Vorgänge setzen
 Für selektierte Vorgänge setzen
 Von sichtbaren Vorgängen entfernen

Name	< Anfang	< Anfang Farbe	Aktiv	Aktive Farbe	> Ende	> Ende Farbe
1 Bestand	Farbe	0		Farbe	0 ...
2 Erdwall SW	...		Farbe	0 ...	Ausblenden	
3 Umfahrung	...		Farbe	0 ...	Farbe	0 ...
4 Rückbau	...		Farbe	0 ...	Ausblenden	

+ -

Abbildung 32 Konfiguration 4D-Visualisierung

Durch die Regel „Bestand“ werden die Bestandverkehrsanlage und Bestandingenieurbauwerk am Anfang grau markiert. Die Regel „Erdwall SW“ visualisiert den Vorgang „Abtrag des Erdwalls“ durch Ausblenden der Objekte am Ende. Regel „Umfahrung“ wird die Baustellenumfahrung nach der Herstellung als blau markiert. Die Regel „Rückbau“ visualisiert alle Rückbau-Prozesse wie z.B. Rückbau des Fahrbahnteilers und Rückbau des Ingenieurbauwerks durch Ausblenden der entsprechenden Objekte am Ende.

Nachdem alle Regeln festgelegt sind, muss jede Regel dem entsprechenden Vorgang zugeordnet werden. Die Zuordnung erfolgt durch Auswählen des Vorgangs und Klicken auf „Für selektierte Vorgänge setzen“.

Der Bauablauf kann nun über die Schachtfläche "Simulation" neben "Vorgänge" simuliert werden. Durch Scrollen mit der Maus auf der Zeitachse kann der Bauablauf langsam verfolgt werden. Folgende Abbildung 33 stellt die Simulation dar:

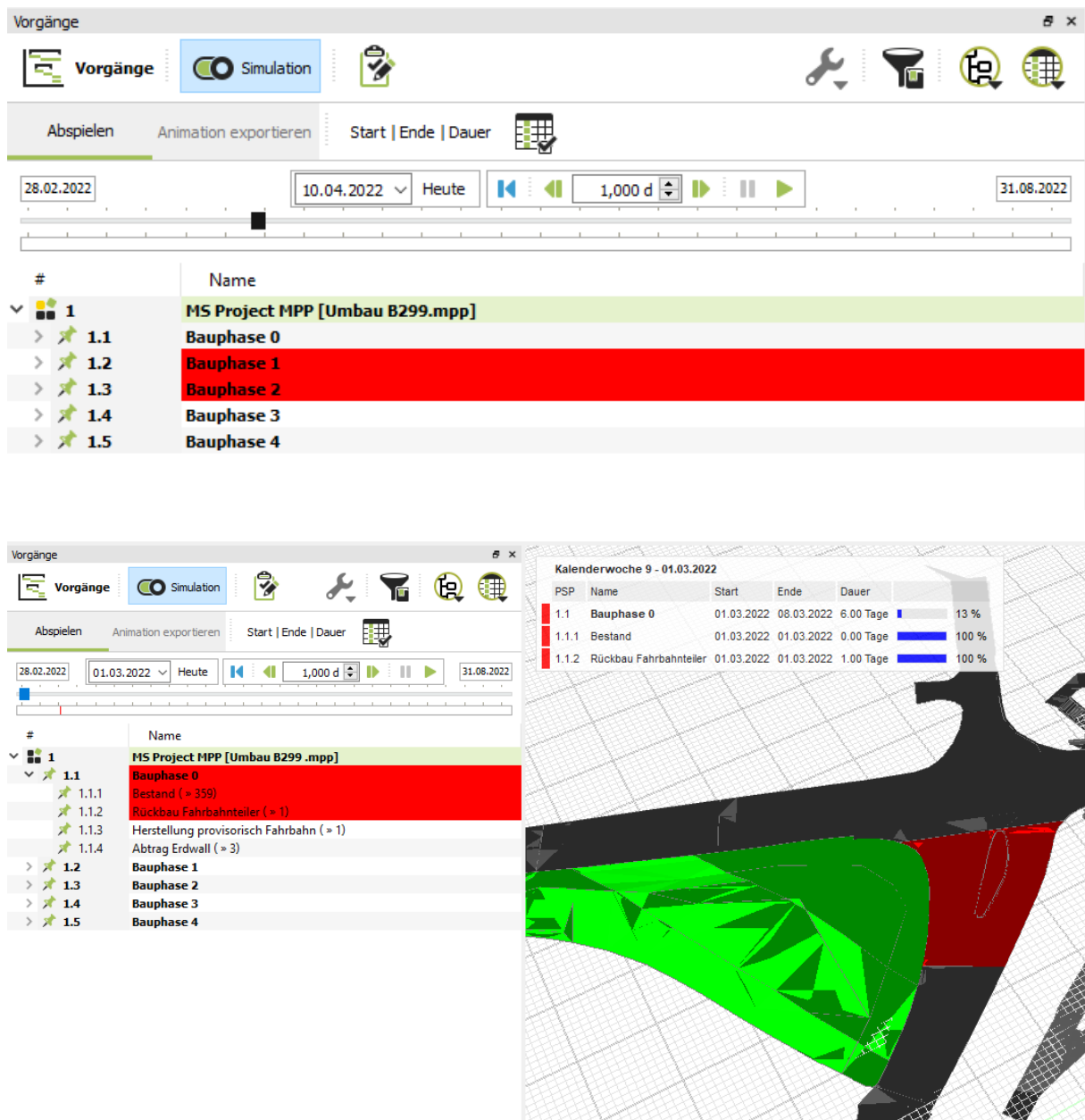


Abbildung 33 Simulation

Durch die Visualisierung der verschiedenen Bauphasen kann der Bauablauf überprüft und dann in MS Project angepasst werden. Nachdem der Bauzeitenplan in MS Project angepasst und aktualisiert wurde, können die Vorgänge auch in Desite MD synchronisiert werden. Es erscheint automatisch ein Hinweisfenster, das mit *Ja* zu bestätigen ist. Danach wird durch Klicken auf „Verknüpfung nicht verändern“ die bestehende Verknüpfung beibehalten. Folgende Abbildung 34 zeigt beide Hinweisfenster:

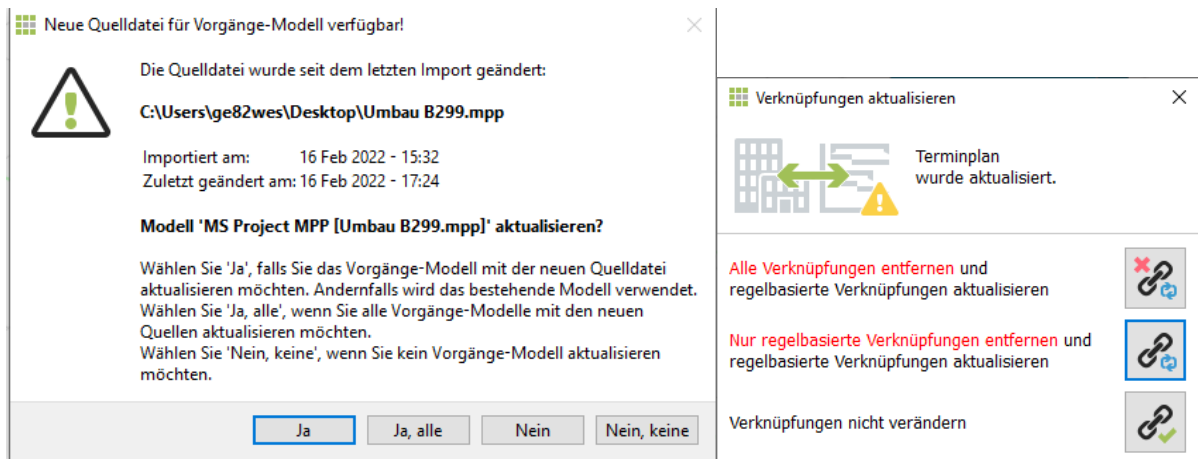


Abbildung 34 Hinweisenfenster

Nach der Überprüfung des Bauablaufs und der Anpassung der Simulation kann die finale Simulation exportiert werden. Zunächst wird die Simulation durch einen Klick auf die Schaltfläche "Simulation" angehalten. Dann erfolgt die Einstellung der fps (frame per second), der Dauer und des Ordners durch das Klicken auf die Schaltfläche "Animation exportieren". Abschließend wird die 4D-Simulation mit einem Klick auf "Simulation exportieren" exportiert. Folgende Abbildung 35 zeigt den Exportieren-Prozess:

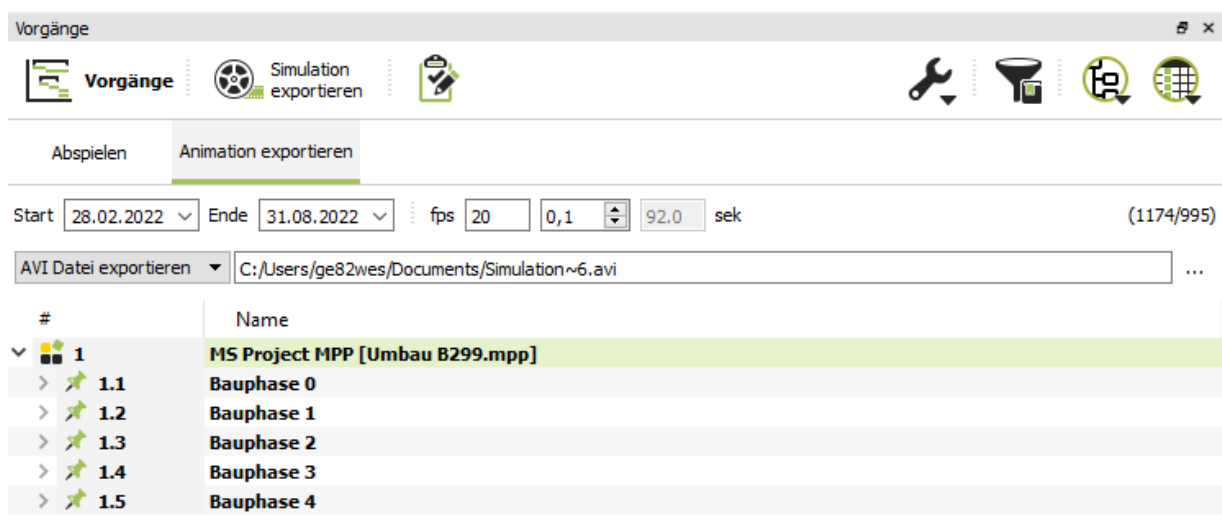


Abbildung 35 Simulation exportieren

5.6 Zusammenfassung

Dieses Kapitel gibt einen Einblick in die praktische Anwendung von BIM 4D in Infrastrukturbauprojekten bzw. im Verkehrsanlagenbau und im Ingenieurbau und bietet einen Leitfaden für die Verwendung von BIM 4D mit *Desite MD* zur modellbasierten Bauablaufvisualisierung und Bauablaufsimulation. In diesem Infrastrukturlpilotprojekt wird die modellbasierte Bauablaufplanung durch die Verknüpfung von einem 3D-Modell

und einem im Vorfeld erstellten Bauzeitenplan erreicht. Der Bauzeitenplan wird traditionell in *MS Project* auf Basis von einem groben Bauphasenplan erstellt, und die Verknüpfung erfolgt manuell. Die Vorgehensweise wird eingeführt im Kapitel 4.2.1. Trotz des Aufwands, der durch die manuelle Verknüpfung entsteht, ist dieser Prozess mit einem sehr einfachen Prinzip leichter zu handhaben als die regelbasierte Verknüpfung mit komplizierteren Prinzipien. In diesem Fall werden die Teilmodelle, die unterschiedliche IFC-Typen und Modelleigenschaften im Koordinationsmodell in *Desite MD* haben, in unterschiedlicher Software erstellt. Dies führt zu einem Problem beim Gruppieren und Erstellen einer neuen benutzerdefinierten Bauwerksstruktur. Darüber hinaus erfordert die regelbasierte Verknüpfung semantische Informationen zu jedem Objekt, die dem Objekt manuell hinzugefügt werden müssen, was einen hohen Aufwand bedeutet. Während des gesamten Prozesses liefert die 4D-Visualisierung ein besseres Ergebnis für die Überprüfung des Bauablaufs und präsentiert ein klares Bild für alle Projektbeteiligten.

Auf der Grundlage dieses Einsatzes gibt es einige Punkte, die in der Zukunft berücksichtigt werden sollten:

- **Detaillierte Modellierung**
Die provisorische Umfahrung war nicht modelliert und konnte nicht im Bauablauf vernünftig dargestellt werden. Solche Elemente sollten künftig zumindest grob modellieren, damit die Bauablaufsimulation die Bauausführung besser darstellen kann. Eine bessere und klare Modellstruktur wird auch für die spätere Bauablaufplanung hilfreich sein.
- **Berücksichtigung des Bauablaufs in der Modellierungsphase**
Die Berücksichtigung des Bauablaufs in der frühen Modellierungsphase ist ein essenzieller Aspekt für die Optimierung der Bauablaufplanung. Probleme wie die Einteilung von Bauteilen und der zusätzliche Aufwand können vermieden werden, wenn die Bauteile bereits in der Modellierungsphase entsprechen dem Bauablauf getrennt wurden. Sie kann den Aufwand in der frühen Phase erhöhen, wird aber den Aufwand und die Kosten in der Ausführungsphase senken.
- **Workshops zum Diskutieren des Bauablaufs**
Workshops zur frühzeitigen Besprechung des Bauzeitenplans zwischen Planer, Auftraggeber und Baufirma sind eine Möglichkeit, die Kommunikation und Zusammenarbeit zu verbessern. Die frühe Beteiligung des Bauunternehmens in

den Workshops spielt eine wichtige Rolle, denn mit deren Fachkenntnis im Bauwesen kann der Bauablaufplan optimiert werden.

- Detaillierter Bauzeitenplan

Der Bauzeitenplan sollte detaillierter sein, so dass sich die Simulation der tatsächlichen Bauausführung stärker annähern kann. Die Deckschicht wird z.B. durch ein Objekt im Modell dargestellt und nur in einem Vorgang erstellt, aber in der Praxis gibt es mehr als einen Schritt, um die Deckschicht zu bauen, wie z.B. Schalungsdecke, Bewehrungsdecke, Abstützen und Austrocknen.

- Dauer des Vorgangs

In dem Beispielprojekt wird die Dauer des Vorgangs auf Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt. Mit Hilfe von dem Volumen aus Mengenermittlung und der jeweiligen Aufwandswerte kann die Dauer dadurch genauer berechnet werden.

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wird zunächst die Grundlage von BIM, BIM 4D und der Bauablaufplanung erläutert, dazu wird der Stand der Technik vom BIM 4D recherchiert. Anschließend wird der konkrete Prozess vorgestellt und vor allem die Umsetzung von BIM 4D in einem Pilotprojekt erläutert.

Im Vergleich zum Hochbau ist die Anwendung von BIM 4D im Infrastrukturbau etwas schwieriger und befindet sich immer noch in der Entwicklungsphase. Der Grund dafür ist, dass die Infrastruktur in der Regel verschiedene Sektoren umfasst, so dass die Modellstruktur nicht so deutlich ist wie beim Hochbau. Außerdem können Infrastrukturprojekte durch Wetterbedingungen, geologische Besonderheit und Beteiligung der Öffentlichkeit stark beeinflusst werden, daher ist ein detaillierter Bauablaufplan nicht einfach zu erstellen. Mit der Veröffentlichung des „Masterplan BIM Bundesfernstraße“ wurden und werden jedoch mehr und mehr BIM-Pilotprojekte vergeben. Die Anwendung von BIM 4D wird dadurch weiter fortschreiten.

BIM 4D befindet sich bei Infrastrukturprojekten noch in der Entwicklung, aber mit der Erfahrung aus der Anwendung in diesem Pilotprojekt und weiteren BIM-Pilotprojekten wird BIM 4D in der Zukunft weiterentwickeln. In Zukunft soll der automatische Prozess wie die regelbasierte Verknüpfung, und sogar die automatische Erstellung des Bauzeitenplans implementiert werden. Mit der zunehmenden Einführung des 4D-Prozesses sollte auch der 5D-Prozess mit dem 4D-Prozess verbunden werden. Darüber hinaus sollte mit der zunehmenden Einführung des 4D-Prozesses der 5D-Prozess mit dem 4D-Modell verbunden werden, wobei die Menge zur Berechnung der Dauer direkt zur Mengenermittlung verwendet werden kann. Das 4D-Modell kann weiter für die Erstellung des Leistungsverzeichnisses und für weitere Kalkulationen verwendet werden. Die Kombination von 4D-Modell und 5D-Prozess kann das Termin- und Kostenmanagement auf ein neues Niveau bringen. Die derzeitige Anwendung von BIM 4D befindet sich hauptsächlich noch in der Planungsphase, könnte aber zu einer Weiterentwicklung in der Bauausführungsphase führen. Durch den Soll-Ist-Vergleich durch 4D-Simulation wird die Baufortschrittskontrolle optimiert. Bei weiterer Entwicklung wird BIM 4D sein volles Potenzial in der Bauablaufplanung, Bauausführung und Bauüberwachung entfalten.

Literaturverzeichnis

ARGE BIM4RAIL (2019): Endbericht zur wissenschaftlichen Begleitung von 13 Pilotprojekten zur Anwendung von BIM im Schienenwegebau, p. 47. Available online at https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2021/03/BIM4RAIL_AP1_Endbericht.pdf, checked on 3/3/2022.

Bach, Andreas; Stiehler, Dirk (2021): BIM im Straßen- und Brückenbau. In André Borrmann, Markus König, Christian Koch, Jakob Beetz (Eds.): Building Information Modeling. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (VDI-Buch), pp. 647–666.

BIM Deutschland (2020): BIM Deutschland-Ziele und Aufgaben. Available online at <https://bimdeutschland.de/>.

BIM4INFRA2020 (2018): AP1.2-AP1.3_BIM4INFRA_Bericht-Stufenplan. Available online at https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/09/AP1.2-AP1.3_BIM4INFRA_Bericht-Stufenplan.pdf, checked on 3/3/2022.

BMVI (2021): Masterplan BIM Bundesfernstraßen – Rahmendokument Steckbriefe der Anwendungsfälle V 1.0. Available online at https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bim-rd-anwendungsfaeelle.pdf?__blob=publicationFile, checked on 03/03/2022.

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (2018): Building Information Modeling. Cham: Springer International Publishing.

Büchmann-Slorup, Rolf; Andersson, Niclas (2010): BIM-BASED SCHEDULING OF CONSTRUCTION. A COMPARATIVE ANALYSIS OF PREVAILING AND BIM-BASED SCHEDULING PROCESSES, p. 10. Available online at <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2010-113.pdf>, checked on 3/6/2022.

buildingSMART (2022): IFC Specifications Database. Available online at <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Available online at <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Building-Information-Modeling/building-information-modeling.html>.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Umsetzung des Stufenplans Umsetzungen des Stufenplans Digitales Planen und Bauen. Erster Fortschrittsbericht. Available online at <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Building-Information-Modeling/building-information-modeling.html>.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2019a): BIM4INFRA2020 Teil1 Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Available online at <https://bim4infra.de/handreichungen/>.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2019b): BIM4INFRA2020 Teil6 Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Available online at <https://bim4infra.de/handreichungen/>.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021): Masterplan BIM Bundesfernstraßen. Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betreibens im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM), p. 29.

Diederichs, Claus Jürgen; Malkwitz, Alexander (Eds.) (2020): Bauwirtschaft und Baubetrieb. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Handbuch für Bauingenieure).

DIN 69900 (2009): Projektmanagement. Netzplantechnik; Beschreibungen und Begriffe. Available online at <https://perinorm-com.eaccess.ub.tum.de/results.aspx>, checked on 11/24/2021.

Eastman, Charles M.; Teicholz, Paul M.; Sacks, Rafael; Lee, Ghang (2018): BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Third edition. Hoboken New Jersey: Wiley.

Eber, Wolfgang (2020): Grundlagen prozessorientierter Planung und Organisation 327.

Erläuterungsbericht: B 299, Umbau der "Brandkreuzung in Beilngries in einen Kreisverkehr"

Gehbauer, Fritz (2009): Baubetriebsplanung und Grundlagen der Verfahrenstechnik im Hoch-, Tief, und Erdbau. Karlsruhe.

Hartmann, Veronika (2014): Modell- und wissensbasierte Bauablaufplanung.

Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas (2016): BIM-Kompendium. Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Hofstadler, Christian (2007): Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Mit 5 Tabellen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. Available online at <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz25571582xcov.htm>.

Jaufmann, Sergius; Piel, Benjamin; Sala, Paulina; Cakir, Vahdet (2021): B299_BAP-V2_3.

Kim, Hyunjoo; Anderson, Kyle; Lee, SangHyun; Hildreth, John (2013): Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. In *Automation in Construction* 35, pp. 285–295. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.05.020.

Kochendörfer, Bernd; Liebchen, Jens H.; Viering, Markus G. (2018): Bau-Projekt-Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Körper, Sebastian (2020): Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Sebastian Körper FDP. Status quo Building Information Modeling (BIM). Available online at <https://www.fdplty.de/initiative/status-quo-building-information-modeling-bim>.

Marian Behaneck (2020): 4D- und 5D-BIM: Bauzeiten und kosten im Blick. *architektur Fachmagazin*. Available online at <https://www.architektur-online.com/kolumnen/4d-und-5d-bim-bauzeiten-und-kosten-im-blick>.

Montaser, Ali; Moselhi, Osama (2015): Methodology for automated generation of 4D BIM. Available online at <https://www.semanticscholar.org/paper/METHODOLOGY-FOR-AUTOMATED-GENERATION-OF-4D-BIM-Montaser-Moselhi/3dcbdda90c494a8adecc83884fccb5ead5808d4d>.

planen-bauen 4.0 (2017): BIM – Pilotprojekt „Tunnel Rastatt“. Available online at <https://planen-bauen40.de/bim-pilotprojekt-tunnel-rastatt/>, updated on 8/29/2017, checked on 3/3/2020.

Rebekka Berbner; Jessica Wohlfart; Christian Elsholz; Franziska Weyer (2019): PwC-Studie „Digitalisierung der deutschen Bauindustrie“, p. 49.

Rebekka Berbner; Jessica Wohlfart; Christian Elsholz; Sven Hoffmann (2020): Digitalisierung der Bauindustrie 2020. PwC-Studie zur Digitalisierung der Baubranche unter Berücksichtigung der Corona-Pandemie und des Infrastrukturausbaus, p. 24. Available online at <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digitalisierung-der-deutschen-bauindustrie-2020.html>.

Schmidt, Sebastian (2021): Fachsymposium Masterplan BIM Bundesstraßen. Themeninsel 8 - Projekt Modelbrücke Grimma im Zuge der A 14, p. 14. Available online at https://www.deges.de/wp-content/uploads/2021/12/2021-12-08_TI-8_BIM-Masterplan_EIBS.pdf, checked on 3/3/2022.

Schüssler-Plan (2016): BIM4RAIL. Forschungsprojekt. Available online at <https://www.schuessler-plan.de/de/projekte/bim-4-rail.html>, checked on 3/3/2022.

Sigalov, Kateryna; König, Markus (2017): Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules. In *Advanced Engineering Informatics* 33, pp. 456–472. DOI: 10.1016/j.aei.2016.12.003.

Staatliches Bauamt Ingolstadt (2022): Projekte Straßenbau. Available online at https://www.stbain.bayern.de/cgi-bin/fts_search_mavis.pl?ADV=1;HTML-NR=3;GROUP_FB=fb_strassenbau, checked on 3/29/2022.

Tauscher, Eike; Mikulakova, Eva; König, Markus; Beucke, Karl (2009): Automated Generation of Construction Schedules Based on the IFC Object Model.

Teizer, Jochen; Melzner, Jürgen; Wolf, Mario; Golovina, Olga; König, Markus (2017): Automatisierte 4D-Bauablaufvisualisierung und Ist-Datenerfassung zur Planung und Steuerung von Bauprozessen, p. 8. Available online at https://www.researchgate.net/profile/Jochen-Teizer/publication/321340255_Automatisierte_4D-Bauablaufvisualisierung_und_Ist-Datenerfassung_zur_Planung_und_Steuerung_von_Bauprozessen/links/5a48b4df0f7e9ba868ac1eac/Automatisierte-4D-Bauablaufvisualisierung-und-Ist-Datenerfassung-zur-Planung-und-Steuerung-von-Bauprozessen.pdf.

Tulke, Jan (2010): Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen. Bauhaus-Universität Weimar. Available online at <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:wim2-20100805-15135>.

Tulke, Jan; Nour, Mohamed; Beucke, Karl (2008): A_Dynamic_Framework_for_Construction_Scheduling_based_on_BIM_using_IFC-with-cover-page-v2.

Welde, W. Yibrah (2016): Automated Generation and Visualization of Initial Construction Schedules from Building Information Models.

Welde, Yibrah; Knapp, Gerald M. (2012): Automated Generation of 4D Building Information Models through Spatial Reasoning.

Zell, Helmut (2018): Projektmanagement - lernen, lehren und für die Praxis. 10th ed. 159 volumes. Norderstedt: Books on Demand. Available online at <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=ZiTtU5-j7g0C&oi=fnd&pg=PP8&dq=Projektmanagement+-+lernen,+lehren+und+f%C3%BCr+die+Praxis&ots=BI-weeLNYrK&sig=urbU3wLlktBiuziwGtWaybO1Hqc#v=onepage&q=Projektmanagement%20-%20lernen%2C%20lehren%20und%20f%C3%BCr%20die%20Praxis&f=false>.

Anhang A

Nr.	Bezeichnung
AwF 1	Bestandserfassung
AwF 2	Planungsvarianten- untersuchung
AwF 3	Visualisierungen
AwF 4	Bemessung und Nachweisführung
AwF 5	Koordination der Fachgewerke
AwF 6	Fortschrittskontrolle der Planung
AwF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen
AwF 8	Arbeits- und Gesundheits- schutz: Planung und Prüfung
AwF 9	Planungsfreigabe
AwF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe
AwF 12	Terminplanung der Ausführung
AwF 13	Logistikplanung
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen
AwF 15	Baufortschrittskontrolle
AwF 16	Änderungsmanagement
AwF 17	Abrechnung von Bauleistungen
AwF 18	Mängelmanagement
AwF 19	Bauwerksdokumentation
AwF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung
AwF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung

(BIM4INFRA2020 2018)

Anhang B

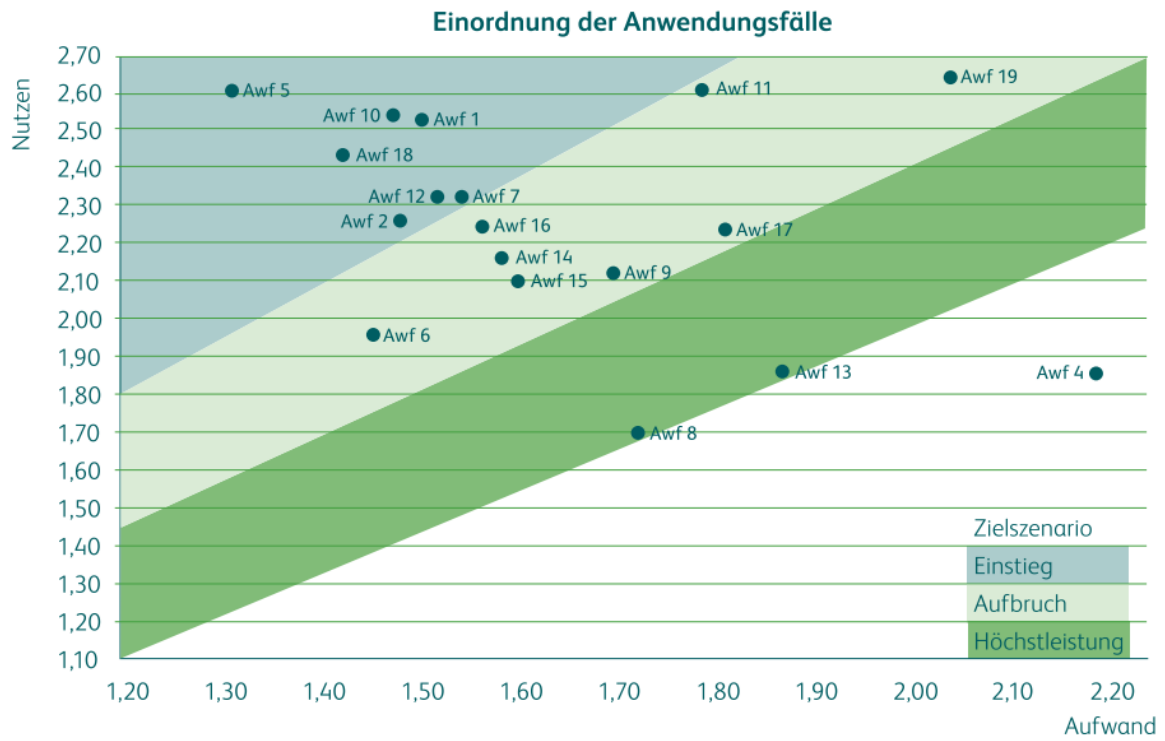
Nr	AwF	Implem. Aufwand	Projekt-Aufwand	Gesamt-aufwand	Nutzen für AG	Nutzen-Aufwand-Verhältnis
AwF 1	Bestandserfassung	1,7	1,1	1,5	2,5	1,67
AwF 2	Planungsvarianten-untersuchung	1,7	0,9	1,5	2,3	1,53
AwF 3	Visualisierungen	1,0	0,7	0,9	2,5	2,73
AwF 4	Bemessung und Nachweisführung	2,5	1,4	2,2	1,9	0,86
AwF 5	Koordination der Fachgewerke	1,5	0,8	1,3	2,6	1,99
AwF 6	Fortschrittskontrolle der Planung	1,8	0,7	1,5	2,0	1,35
AwF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen	1,8	0,8	1,5	2,3	1,53
AwF 8	Arbeits- und Gesundheits-schutz: Planung und Prüfung	1,8	1,3	1,7	1,7	1,01
AwF 9	Planungsfreigabe	2,0	0,8	1,7	2,1	1,26
AwF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung	1,9	0,6	1,5	2,5	1,71
AwF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	2,1	0,9	1,8	2,6	1,47
AwF 12	Terminplanung der Ausführung	1,8	0,9	1,5	2,3	1,56
AwF 13	Logistikplanung	2,0	1,3	1,8	1,8	1,01
AwF 14	Erstellung von Ausführungsplänen	1,8	1,0	1,6	2,2	1,39
AwF 15	Baufortschrittskontrolle	1,9	0,8	1,6	2,1	1,34
AwF 16	Änderungsmanagement	1,8	0,9	1,5	2,3	1,46
AwF 17	Abrechnung von Bauleistungen	2,2	1,0	1,8	2,2	1,23
AwF 18	Mängelmanagement	1,6	0,9	1,4	2,4	1,73
AwF 19	Bauwerksdokumentation	2,3	1,5	2,0	2,6	1,31
AwF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung	2,4	1,3	2,1	2,7	1,30

Abbildung 5: Bewertung von Aufwand und Nutzen der einzelnen Anwendungsfälle durch die befragten Experten.

■ Einstieg; ■ Aufbruch; ■ Höchstleistung

(BIM4INFRA2020 2018)

Anhang C



(BIM4INFRA2020 2018)

Anhang D

AWF-Nr.	Bezeichnung des Anwendungsfalls	Beschreibung
000	Grundsätzliches	Unter „Grundsätzliches“ können je nach Maßnahmenträger bei Bedarf weitere bzw. übergreifende Anwendungsfälle in der Struktur abgebildet werden, die die Grundlagen für den Einsatz für die Beauftragung der Anwendungsfälle bilden (z. B. AIA, BAP, Projektbesprechungen betreffend).
010	Bestandserfassung und -modellierung	Erfassung der wesentlichen Aspekte des Bestandes durch ein geeignetes Aufmaß und Überführung in ein Bestandsmodell.
020	Bedarfsplanung	Erstellen eines generischen Bedarfsmodells/einer digitalisierten Aufstellung einer Bedarfsplanung nach Muster 13 RBBau (Raumbedarfsplan), z. B. digitales Raumbuch und die digitale Umsetzung der Beschaffungsvariantenuntersuchung.
030	Planungsvarianten bzw. Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen*	Erstellung von Planungsvarianten als BIM-Modell zur Vereinfachung der Analyse und Bewertung hinsichtlich Kosten, Terminen, baulich-konstruktiver Gestaltung bzw. Qualitäten. Nutzung der Methode BIM z. B. im Rahmen der Aufstellung der ES-Bau/EW-Bau oder der Voruntersuchung und des Entwurf-HU. Möglich sind in diesem Zusammenhang beispielweise eine modellbasierte Untersuchung von Planungsvarianten, eine vereinfachte Mengen- und Kostenermittlung oder die Initiierung eines modellbasierten Vergabeverfahrens (ggf. mit Planungswettbewerb). **
040	Visualisierung	Bedarfsgerechte Visualisierung unter Zuhilfenahme der BIM-Modelle, ergänzt um weitere Objekte und Informationen und/oder grafisch aufbereitet als Basis für die Projektkommunikation (z. B. visuelle Aufbereitung von Bauteilen) oder Öffentlichkeitsarbeit (fotorealistische Abbildungen, Animationen u. a.)
050	Koordination der Fachgewerke	Regelmäßiges Zusammenführen der Fachmodelle in einem Koordinationsmodell mit anschließender automatisierter Kollisionsprüfung, systematischer Konfliktbehebung und Prüfung weiterer Kriterien.
060	Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung	Nutzung des Modells für die Planungsfortschrittskontrolle als Grundlage des Controllings sowie die Durchführung der Qualitätsprüfung inkl. der Abnahme der Leistung in den vordefinierten Meilensteinen sowie Planungsfreigabe durch den Auftraggeber.
070	Bemessung und Nachweisführung	Nutzung des Modells für Bemessung und Nachweisführung, einschließlich etwaiger Simulationen wie Überflutung, Lärm- und Schadstoffausbreitung etc. Der Anwendungsfall deckt sowohl rechnerische als auch organisatorische, termin- und sicherheitsrelevante Aspekte ab.
080	Ableitung von Planunterlagen	Ableitung relevanter Teile der Planung aus dem Bauwerksdatenmodell und Überführung in 2D-Planformate. Maßstab, Darstellung und Planinhalte entsprechen hierbei den jeweiligen Richtlinien und Regelwerken bzw. Projektanforderungen.
090	Genehmigungsprozess	Durchführung der Prüfläufe zur behördlichen/ hoheitlichen Freigabe der Planung, Prüfung, Genehmigung auf Basis von BIM-Modellen und den daraus abgeleiteten, zusätzlich erforderlichen Unterlagen unter Beachtung regulativer Vorgaben.
100	Mengen- und Kostenermittlung	Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) anhand des Modells und Aufstellung der Kostenschätzungen und -berechnungen nach üblichen Kostengliederungen (AKVS, VV-WSV 2107, DIN 276-4 etc.)
110	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	Modellgestütztes Erzeugen mengenbezogener Positionen des Leistungsverzeichnisses sowie modellbasierte Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe auf Basis der vorliegenden Planung.

AWF-Nr.	Bezeichnung des Anwendungsfalls	Beschreibung
120	Terminplanung der Ausführung	Nutzung eines durch Verknüpfung von Vorgängen der Terminplanung mit den zugehörigen Modellelementen erstellten 4D-Modells zur Darstellung und Überprüfung des geplanten Bauablaufs.
130	Logistikplanung	Unterstützung der Planung und Kommunikation von Logistikabläufen (Baustelleneinrichtung, Baustelleninfrastruktur, Verkehrsphasen, Verkehrsführung) auf Basis von 4D-Modellen.
140	Baufortschrittskontrolle	Nutzung des Modells für die terminliche Baufortschrittskontrolle als Grundlage des Projekt-Controllings.
150	Änderungs- und Nachtragsmanagement	Nutzung des Modells zur Dokumentation, Nachverfolgung und Freigabe von Planungsänderungen während der Bauausführung und zur Erfassung von Nachträgen.
160	Abrechnung von Bauleistungen	Nutzung des Modells zur regelmäßigen Dokumentation und zur Plausibilisierung von Bauleistungen und Abschlagsrechnungen.
170	Abnahme- und Mängelmanagement	Nutzung des Modells zur Verortung und Dokumentation von Ausführungsmängeln und deren Nachverfolgung zur Behebung sowie zu klärender Punkte
180	Inbetriebnahme-management	Digitale, modellbasierte Unterstützung der Aufgaben des Inbetriebnahmemanagements von der Planungsphase, über die Bauausführung bis hin zur Übergabe in den bestimmungsgemäßen Betrieb. Ein Fokus liegt hierbei bereichsspezifisch v. a. auf der Technischen Gebäudeausstattung oder der Leit- und Steuerungstechnik.
190	Projekt- und Bauwerksdokumentation	Erstellung eines Wie-gebaut-Modells als „digitale Bauwerksakte“ mit detaillierten Informationen zur Ausführung, z. B. verwendete Materialien und Produkte sowie ggf. Verweise auf Prüfprotokolle und weitere Dokumente. Einbindung weiterer Informationen und Dokumentationen, z. B. kaufmännischer Dokumentationen.
200	Nutzung für Betrieb und Erhaltung	Übernahme von Daten aus dem Wie-gebaut-Modell in entsprechende Systeme des Erhaltungsmanagements, Darstellung und ggf. Bewertung des Bauwerkszustandes im Modell sowie Aktualisierung des Modells im Falle von Instandsetzungsmaßnahmen.

* Abhängig vom Fachbereich kann entweder der Begriff „Planungsvarianten“ oder „Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen“ gewählt werden

** Abhängig vom Fachbereich und der Auswahl der AWF-Bezeichnung trifft die erste Beschreibung bei den „Planungsvarianten“, die zweite bei der „Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen“

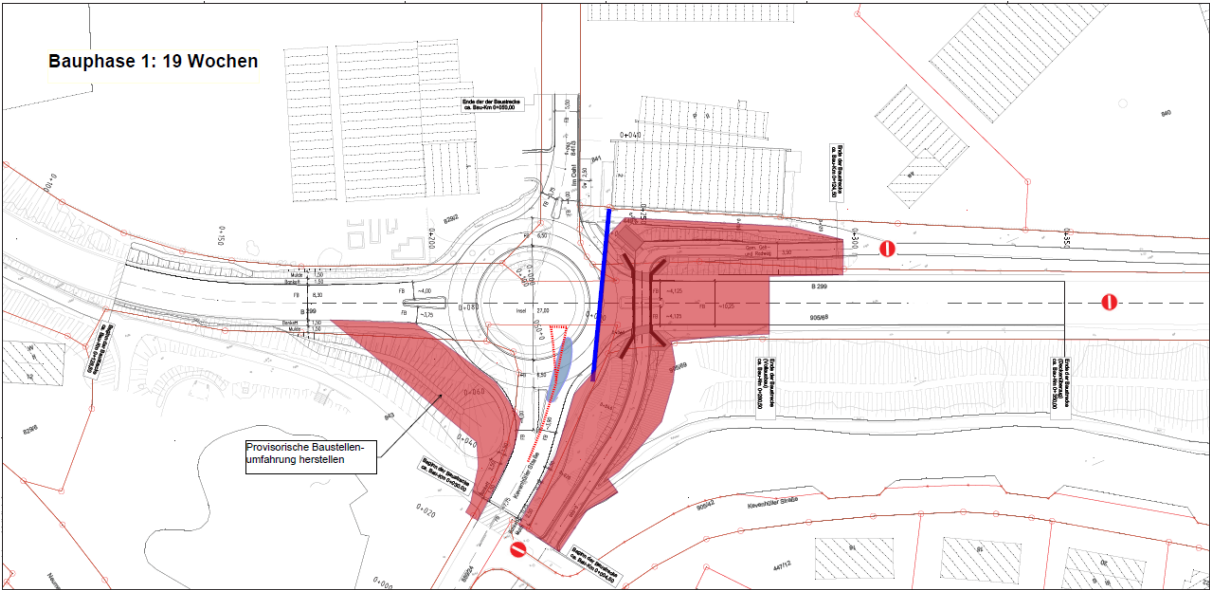
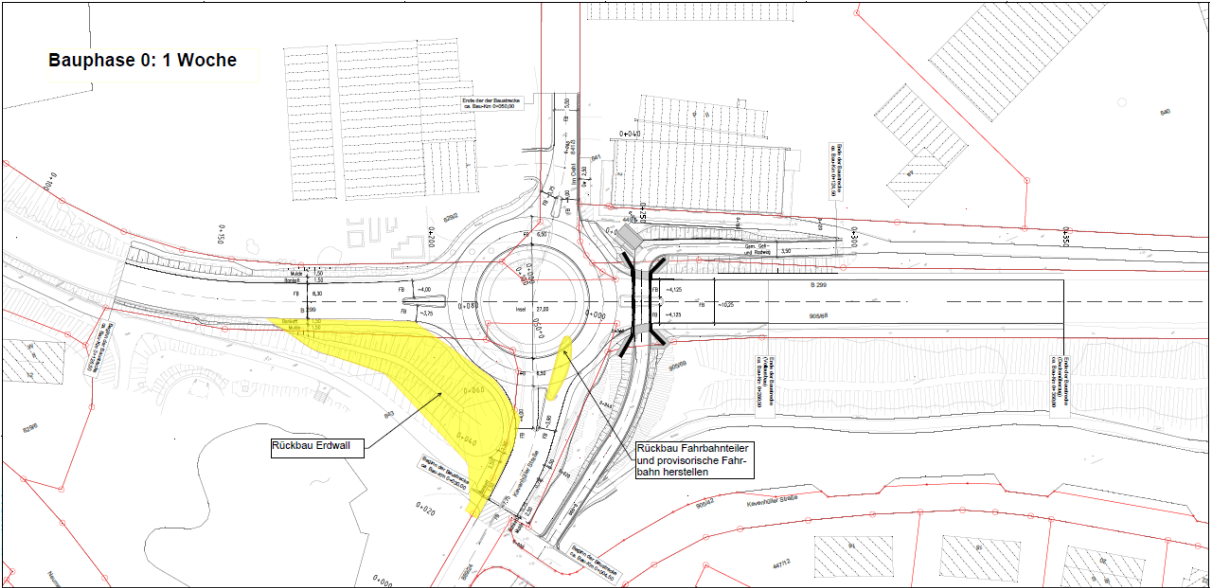
(BMVI 2021a)

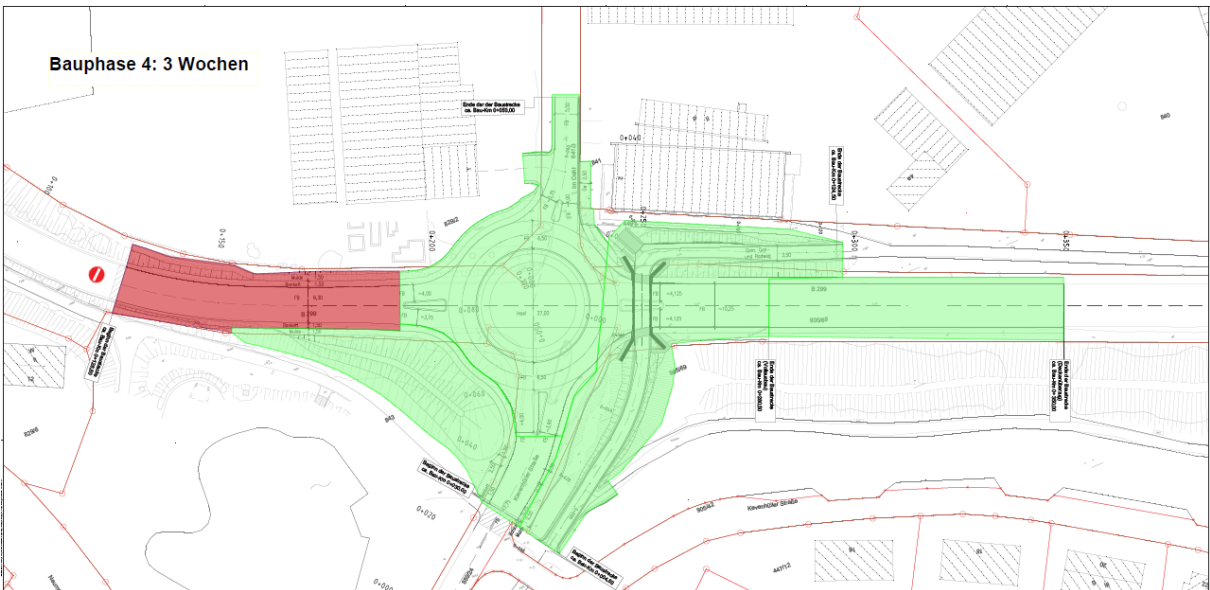
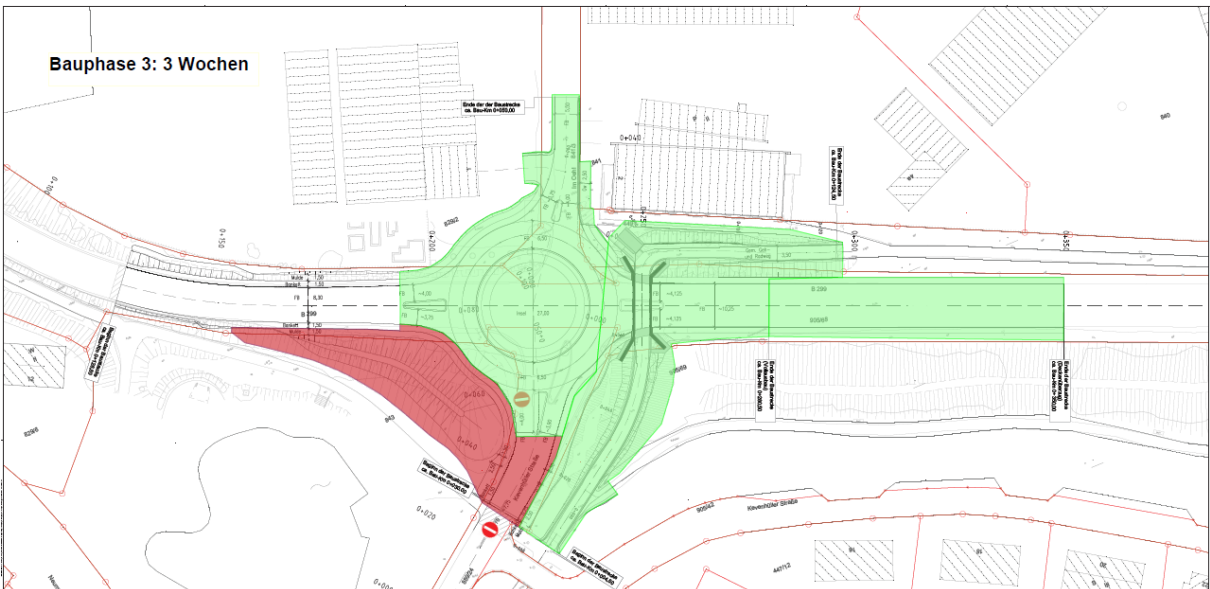
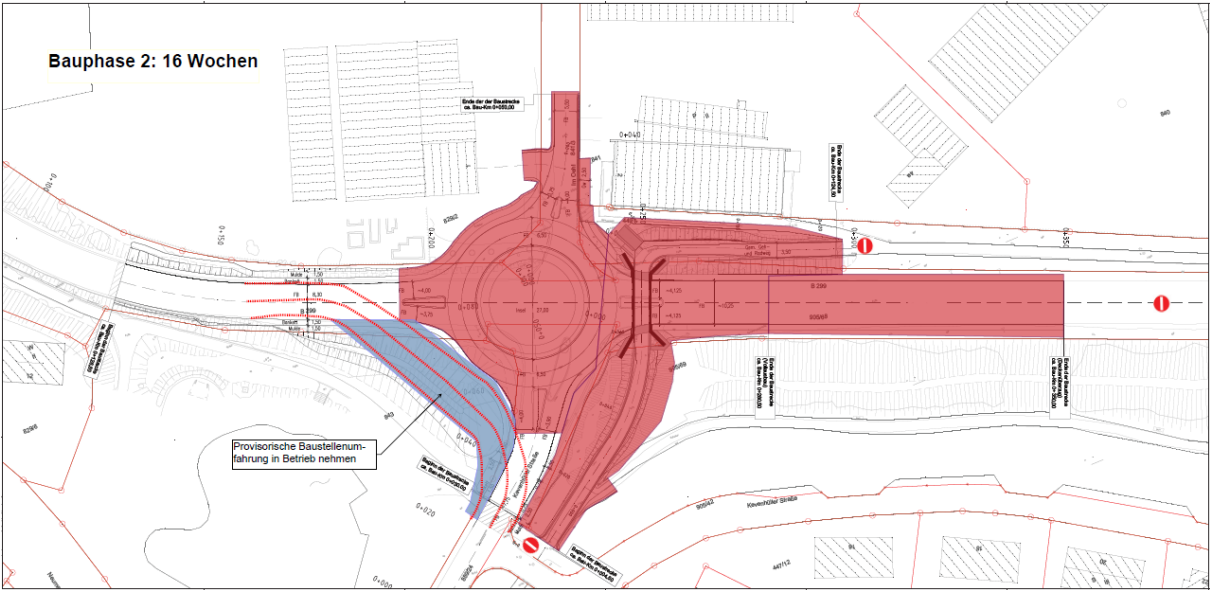
Anhang E

- AwF 010 – Bestandserfassung und -modellierung
- AwF 030 – Planungsvarianten bzw. Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen
- AwF 040 – Visualisierung
- AwF 050 – Koordination der Fachgewerke
- AwF 080 – Ableitung von Planunterlagen
- AwF 100 – Mengen- und Kostenermittlung
- AwF 110 – Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe
- AwF 190 – Projekt- und Bauwerksdokumentation

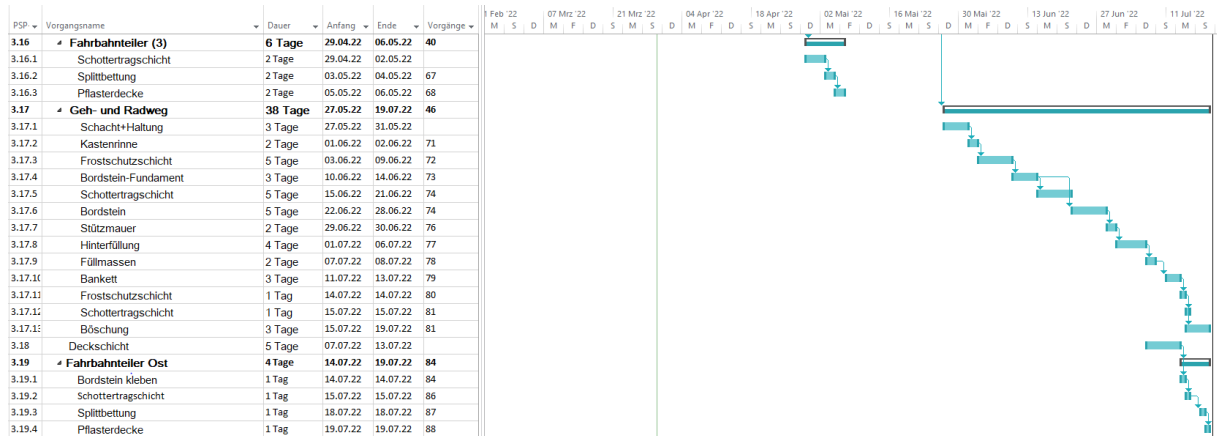
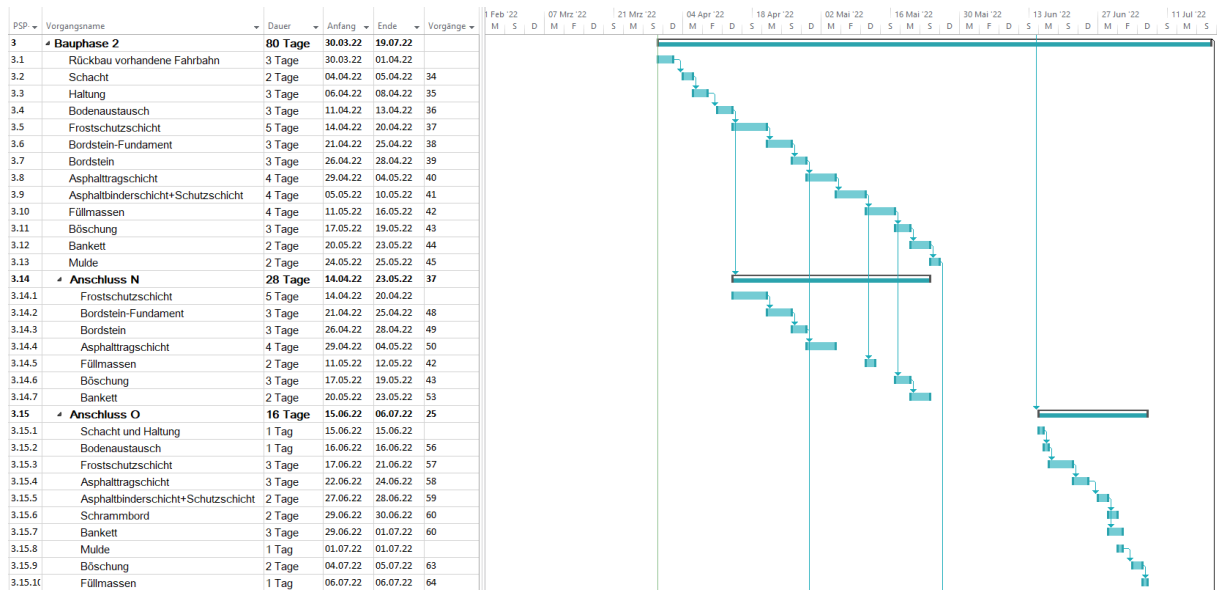
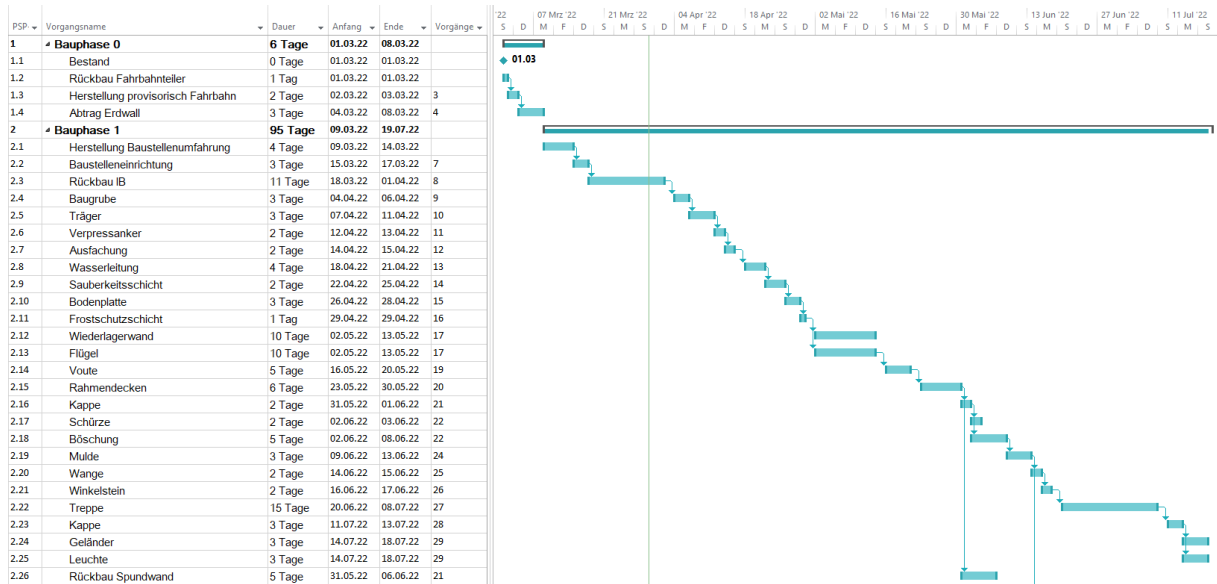
(BMVI 2021b)

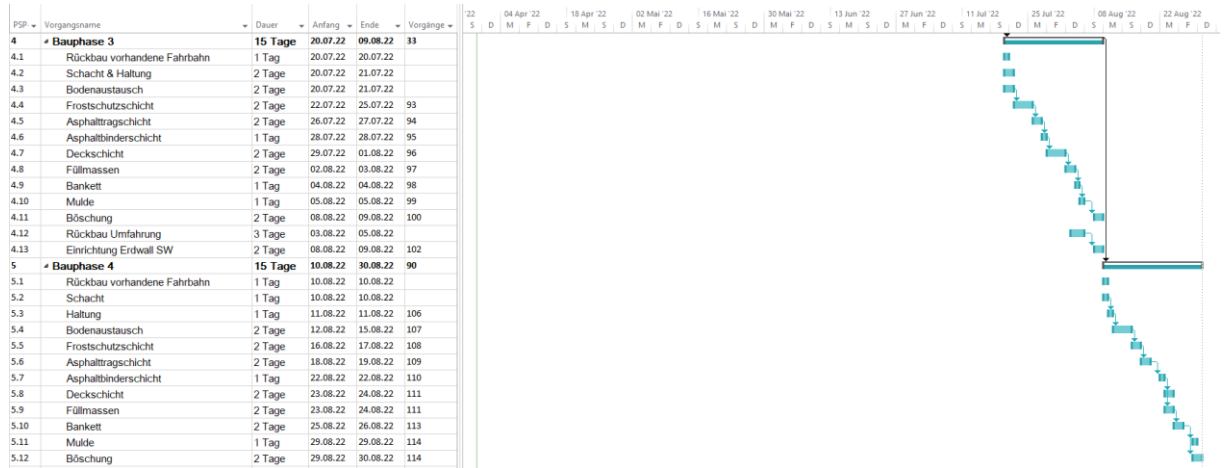
Anhang F





Anhang G





Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Master-Thesis selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ich versichere außerdem, dass die vorliegende Arbeit noch nicht einem anderen Prüfungsverfahren zugrunde gelegen hat.

München, 30. Mai 2022

Shaoyilei Zhang
Shaoyilei Zhang

Shaoyilei Zhang
