

Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation

Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

# Implementierung einer Datenschnittstelle zur Unterstützung der modellbasierten Planung von Bahnausrüstungstechnik

**Sebastian Esser**

Masterarbeit

für den Master of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor:	Sebastian Esser
Matrikelnummer:	██████████
Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. André Borrmann Simon Vilgertshofer M.Sc.
Ausgabedatum:	01. Juni 2018
Abgabedatum:	07. September 2018

## Abstract

Like in many other areas of the construction industry, the use of Building Information Modeling (BIM) and new strategies of collaboration based on open data formats plays an increasing role in infrastructure planning and operation.

While there are many applications and concepts for planning and construction processes in the building sector available on the market already, the use of BIM-methods in infrastructure projects in Germany has just been initialized. With the vendor-neutral data format *PlanPro*, Deutsche Bahn AG (DB) has developed a concept for data exchange, which will be used in the planning and operation process of train protection systems in the future. With this format, data can be stored and transferred that is generated during several planning phases and is required for the operation of interlockings and the manufacturing of signals and other railway components.

This thesis analyses the data schema *PlanPro*, the status of the current implementation and the ability to create BIM models based on a *PlanPro* file. In detail, the achievable Level of Development (LoD) is studied when only using a *PlanPro* file as a data source. The capacity using the created BIM model for certain applications and simulations will be examined in a further step. Then, a couple of use cases will be addressed in detail and an outlook will be given on which information should be used from other data sources to develop a more detailed BIM model.

A .NET-based application was developed as a part of this thesis to import a *PlanPro* file and prepare the data for the model creation process. The BIM model itself is then created using *Autodesk Revit* and a plugin, which development was also part of this work.

## Zusammenfassung

Wie in vielen anderen Teilen der Bauwirtschaft spielen die Methoden des Building Information Modelings (BIM) sowie die Vernetzung von Planungsaufgaben durch neue Datenaustauschformate auch im Bereich der Infrastrukturplanung eine zunehmende Rolle. Während für die Planung und Ausführung von Hochbauprojekten bereits viele Applikationen und Standardisierungen entwickelt wurden, steht die Anwendung von BIM-Methoden für Infrastrukturprojekte noch am Anfang. Mit dem herstellerunabhängigen Datenaustauschformat *PlanPro* hat die Deutsche Bahn AG (DB) ein Konzept geschaffen, das zum Datenaustausch in der Planung von Leit- und Sicherungstechnik (LST) für Bahnstrecken zum Einsatz kommen soll. Darin können Daten gespeichert werden, die im Laufe der Planung erzeugt und für den Betrieb von Stellwerken benötigt werden.

Die vorliegende Arbeit untersucht dieses Datenschema, den Stand der derzeitigen Implementierung und die Möglichkeit, die in *PlanPro* gespeicherten Daten für die Erstellung von BIM-Modellen zu verwenden. Konkret wird die Frage behandelt, welche Detaillierung in einem BIM-Modell erreicht werden kann, wenn lediglich eine PlanPro-Datei als Datengrundlage für das BIM-Modell verwendet wird und welche Schwierigkeiten bei der Modellerstellung auftreten können. Die Verwendung des erstellten BIM-Modells für ausgewählte Anwendungsfälle wird in einem weiteren Schritt untersucht. Anhand von Beispielen wird ein konkreter Anwendungsfall abschließend konkret analysiert und ein Ausblick gegeben, welche Informationen aus anderen Datenquellen hinzugezogen werden müssten, um ein detaillierteres BIM-Fachmodell für die LST-Planung erstellen zu können.

Zur Modellerstellung wurde im Rahmen dieser Arbeit eine .NET-basierte Applikation entwickelt, die PlanPro-Dateien einlesen kann und die Daten für eine teil-automatisierte Modellerstellung aufbereitet. Die Erstellung des BIM-Modells erfolgt mithilfe eines Plugins in *Autodesk Revit*, dessen Entwicklung ebenfalls Bestandteil dieser Arbeit ist.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation und Aufbau der Arbeit</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Idee . . . . .	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Building Information Modeling im Infrastrukturbereich</b>	<b>4</b>
2.1	Begriffsdefinitionen und Auslegungen von BIM . . . . .	4
2.2	Anforderungen an ein BIM-Infrastrukturmodell . . . . .	6
2.2.1	Mögliche Anwendungsfälle . . . . .	6
2.3	Programme und Softwarelösungen für den Hochbau . . . . .	8
2.3.1	Modellerstellung . . . . .	9
2.3.2	Zusammenführung von Teilmodellen . . . . .	10
2.3.3	Modellprüfung . . . . .	10
2.3.4	BIM-Viewer und Datenaufbereitung . . . . .	11
2.4	Datenaustausch im Kontext von Open BIM und Closed BIM . . . . .	11
2.4.1	Datenaustauschformate in BIM-basierenden Planungsprozessen . . . . .	12
2.5	Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei BIM in der Infrastrukturplanung . . . . .	13
2.5.1	Ursprünge und Strukturen . . . . .	13
2.5.2	Beteiligte Gewerke bei der Planung von Eisenbahntrassen . . . . .	13
2.5.3	Softwarelösungen für die Planung von Bahnausrüstungstechnik . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Das Datenaustauschformat PlanPro</b>	<b>20</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	20
3.2	Verwendung von PlanPro . . . . .	21
3.3	Technische Analyse des Datenmodells . . . . .	22
3.3.1	Allgemeine Grundlagen der Extensible Markup Language . . . . .	22
3.3.2	Kriterien zur Gestalt einer XML-Datei . . . . .	23
3.3.3	Umsetzung der XML-Standards im PlanPro-Projekt . . . . .	24
3.4	Übersetzung des XSD-Schemas in eine Klassenbibliothek . . . . .	26
3.4.1	Getestete XSD-Parser für PlanPro . . . . .	26
3.5	Zusammenfassung . . . . .	29

<b>4</b>	<b>Erstellung eines BIM-Modells auf Grundlage der PlanPro-Daten</b>	<b>30</b>
4.1	Zielsetzung	30
4.2	Beispielprojektdaten Bahnhof PHausen	31
4.3	Entwickelte Softwareumgebung	31
4.3.1	Angestrebte Funktionen	32
4.4	Geplante Eingangsdaten	33
4.5	Datentransfer zwischen PreProcessing und Modellierungsumgebung	34
4.6	Modellierung von Komponenten	35
4.6.1	Vorbemerkungen	35
4.6.2	Vorbereitung des Revit-Projektes	38
4.6.3	Betrachtungsbereich und Planungsbereich	39
4.6.4	Gleisnetz als Knoten-Kanten-System	41
4.6.5	Platzierung von Gleisoberbau und Lichtraumprofil	47
4.6.6	Platzierung von punktförmigen Objekten	49
4.6.7	Platzierung von linienförmigen Objekten	54
4.6.8	Anwendung: Platzierung von Signalen	54
4.7	Umgang mit Planungsänderungen	62
4.8	Bewertung der zur Verfügung gestellten Informationen zur Modellerstellung	63
4.8.1	Geometrische Modellierung von Ausrüstungsgegenständen	63
4.8.2	Nichtgeometrische Eigenschaften	66
<b>5</b>	<b>Verwendung und Analyse des erzeugten BIM-Modells</b>	<b>68</b>
5.1	Vorteile der Revit-Umgebung	68
5.2	IFC-Export	69
5.2.1	Export-Einstellungen in Revit	69
5.2.2	Darstellung der Teilmodelle in Solibri Model Checker	71
5.3	Verwendung des Modells	72
5.3.1	Geometrische Darstellung und Visualisierung	73
5.3.2	Geometrische Kollisionsprüfung	73
5.3.3	Fachliche Prüfung auf die Einhaltung von Regeln und Normen	74
5.3.4	Bauablaufsimulation	74
5.3.5	Nutzung im Betrieb	74
5.4	Fazit Modellerstellung	75
<b>6</b>	<b>Ausblick Regeltestprüfungen</b>	<b>76</b>
6.1	Validierung von XML-Dateien mithilfe von Schematron	76
6.1.1	Struktur einer Schematron-Datei	76
6.1.2	Anwendung einer Schematron-Datei auf ein XML-Dokument	80
6.1.3	Grenzen Schematron	80
6.2	Regelüberprüfungen in einem BIM-Infrastrukturmodell	80

6.2.1	Grundlagen . . . . .	81
6.2.2	Überprüfung von BIM-Modellen mit mvdXML . . . . .	83
6.2.3	Fortgeschrittene Regelprüfungen im dreidimensionalen Raum . . . . .	83
6.3	Beispiel: Erweiterte geometrische Kollisionsprüfung . . . . .	84
6.4	Beispiel: Untersuchung von Sichtweiten im BIM-Modell . . . . .	85
<b>7</b>	<b>Gesamtfazit und Ausblick</b>	<b>88</b>
7.1	Bewertung der BIM-Fähigkeit des PlanPro-Datenmodells . . . . .	88
7.1.1	Funktionen und Perspektiven . . . . .	88
7.1.2	Limitierungen . . . . .	89
7.2	Grenzen der verwendeten Anwendungen . . . . .	89
7.3	Ausblick . . . . .	90
<b>A</b>	<b>Digitaler Anhang</b>	<b>92</b>

---

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AIA</b>	Auftraggeber-Informationsanforderungen
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>BEST</b>	Betriebs- und Stellwerksimulation
<b>BCF</b>	BIM Collaboration Format
<b>BIM</b>	Building Information Modeling
<b>bSi</b>	buildingSMART international
<b>CAFM</b>	Computer Aided Facility Management
<b>CDE</b>	Common Data Environment
<b>DB</b>	Deutsche Bahn AG
<b>DSTW</b>	Digitales Stellwerk
<b>DTD</b>	Document Type Definition
<b>EBO</b>	Eisenbahnbau- und Betriebsordnung
<b>EF</b>	Entity Framework
<b>ESTW</b>	Elektronisches Stellwerk
<b>ETCS</b>	European Train Control System
<b>GUID</b>	Globally Unique Identifier
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>LST</b>	Leit- und Sicherungstechnik
<b>IFC</b>	Industry Foundation Classes
<b>LoD</b>	Level of Development
<b>LoG</b>	Level of Geometry
<b>LoI</b>	Level of Information
<b>MVD</b>	Model View Definitions
<b>OKSTRA</b>	Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen
<b>RZ</b>	Regelzeichnung
<b>SBI</b>	Signalbauindustrie
<b>SOK</b>	Schienenoberkante
<b>UML</b>	Unified Modeling Language
<b>W3C</b>	World Wide Web Consortium
<b>XSL</b>	Extensible Stylesheet Language
<b>XSLT</b>	Extensible Stylesheet Language Transformationen

<b>XML</b>	Extensible Markup Language
<b>XPath</b>	XML Path Language
<b>XSD</b>	XML Schema Definition

# Kapitel 1

## Motivation und Aufbau der Arbeit

### 1.1 Motivation und Idee

Die fortschreitende Digitalisierung hält wie in anderen Industriezweigen auch im Baugewerbe zunehmend Einzug. Dabei ist das Building Information Modeling einer der zentralen Begriffe, die die aktuellen Diskussionen und Entwicklungen in der Branche bestimmen. Wie der Begriff schon vermuten lässt, haben Arbeitsweisen und Ideen zur BIM-Technologie ihre Ursprünge im Hochbau. Mit der stetigen Weiterentwicklung von Anwendungen und umfangreichen Forschungstätigkeiten ist es heute möglich, einen hochgradig detaillierten, digitalen Zwilling eines realen Gebäudes zu erschaffen, welcher für zahlreiche Anwendungen von der Bauphase bis zum Abriss des Bauwerks verwendet werden kann. BIM kann dabei aber nicht auf eine bestimmte Software oder einen speziellen Arbeitsablauf beschränkt werden - vielmehr ist BIM ein Konzept, welches eine objektorientierte Beschreibung von Objekten und Prozessen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes darstellt.

In letzter Zeit konnte der Wunsch nach vermehrtem Einsatz von BIM-Technologien in der Planung von Infrastrukturprojekten beobachtet werden (Liebich et al., 2018). Viele Akteure haben erkannt, dass bestehende Konzepte aus dem Hochbau und deren Vorteile auch im Tiefbau und der Planung von Infrastruktur-Projekten eingesetzt werden können. Dennoch weisen Infrastruktur-Projekte andere Spezifika auf, die sich von Hochbauprojekten zum Teil erheblich unterscheiden.

Ein grundlegender Unterschied bei dem Einsatz von BIM-Methoden in Infrastruktur-Projekten ist die räumliche Ausdehnung. Braun und Obermeyer Planen+Beraten GmbH (2017) unterteilen diesen Sachverhalt in zwei Objekttypologien. Auf der einen Seite existieren Bauwerke der Typologie Gebäude, die sich durch Ebenen und Raster sowie begrenzten Ausdehnungen im Lageplan beschreiben lassen. Auf der anderen Seite existiert die Typologie Achse, worunter Bauwerke und Projekte mit linienartiger Ausdehnung fallen und entlang

einer Trassierungsachse orientiert sind. Für Projekte dieses Typs sind neue Anforderungen an die Editierungs- und Planungswerkzeuge zu beachten, die die Verwendung bestehender BIM-Software aus dem Hochbau erschweren.

Weiter unterscheiden sich Infrastrukturprojekte im eingesetzten Verkehrsmittel und den daraus resultierenden Anforderungen an die Trassierung und der technischen Ausrüstung. Während im Straßenverkehr alle Teilnehmer 'auf Sicht' fahren, ihre Fahrweise den örtlichen Gegebenheiten anpassen und gegebenenfalls ausweichen können, muss im schienengebundenen Verkehr mit gesicherten Sicherheitsräumen gearbeitet werden, um die fehlende Möglichkeit des Ausweichens sowie Redundanzen für mögliches Fehlverhalten eines einzelnen Akteurs einzuplanen (Uminski et al., 2016) (Buder, 2017). Auch die Vermischung verschiedener Verkehrsmittel, die völlig unterschiedliche Technologien zur Steuerung besitzen, tritt besonders bei begrenzten räumlichen Bedingungen auf (APTA, 2004). Ein Beispiel hierfür sind Trambahnsysteme, deren Trassierung häufig mit innerstädtischen Straßen kombiniert werden muss.

Diese stark variierenden Anforderungen sind besonders im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik (LST) relevant, die ein eigenes Gewerk in der Planung von schienengebundenen Fahrwegen darstellt.

Es steht außer Frage, dass BIM nicht die fachliche Expertise des Ingenieurs ersetzen können wird (und soll). Gerade in der Planung von sehr spezialisierten und sicherheitsrelevanten Bauteilen und Ausrüstungsgegenständen ist es unabdingbar, bestehendes Fachwissen im Planungsprozess einzusetzen und dieses durch den Einsatz adäquater Technik zu unterstützen.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit stellt eingangs vorhandene Softwarelösungen und Konzepte zur Erstellung von BIM-Infrastrukturmodellen vor. Die Analyse zeigt auf, dass es für viele planerische Aufgaben bereits etablierte Software-Lösungen gibt, die allerdings häufig keine gemeinsamen Schnittstellen zur neutralen Datenweitergabe an andere Projektbeteiligte und zwischen verschiedenen Anwendungen unterstützen.

Um diese Situation zu verbessern, wurde in den letzten Jahren begonnen, verschiedene neutrale Formate und Speicherstrukturen zu entwickeln, die für den Datenaustausch bei Straßen- und Eisenbahnprojekten zum Einsatz kommen sollen. Eines dieser Datenformate ist *Plan-Pro*, welches zur konsistenten Datenhaltung im Planungsprozess von Leit- und Sicherungstechnik (LST) entwickelt wird. Dabei handelt es sich um eine Datenstruktur, die vorrangig fachliche Informationen der LST-Planung erfassen kann, weshalb anschließend eine Methode erarbeitet wird, wie diese Daten für ein gewerke-übergreifendes Zusammenarbeiten bereitgestellt werden können. Dazu wird auf Grundlage der in PlanPro gespeicherten Informationen

ein BIM-Modell teilautomatisiert erstellt. Dieses Modell wird anschließend auf Grundlage möglicher Anwendungsfälle bewertet und erörtert, für welche Fälle das auf Grundlage der PlanPro-Daten erzeugte Modell ausreichend ist und für welche Aufgaben zusätzliche Informationen aus anderen Gewerken hinzugezogen werden müssen.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden allgemeine Informationen und Konzepte des Building Information Modelings im Kontext von Infrastrukturprojekten vorgestellt, die zum Verständnis der späteren Modellierung notwendig sind. Kapitel 3 beleuchtet die technischen Grundlagen des PlanPro-Datenmodells und gibt einen Überblick über wichtige Elemente, die für die anschließende Erstellung eines BIM-Modells auf Grundlage der in PlanPro enthaltenen Informationen relevant sind. Die Modellerstellung und damit verbundene Schwierigkeiten werden in Kapitel 4 erläutert. Das Modell wird anschließend in ein herstellernerneutrales Datenformat überführt und für weitergehende Untersuchungen und Simulationen vorbereitet, was in Kapitel 5 beschrieben wird. Kapitel 6 gibt einen vertieften Überblick, wie mögliche Modellüberprüfungen im Kontext der LST-Planung aussehen könnten. Kapitel 7 schließt mit der Evaluation der vorgestellten Konzepte ab und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Untersuchungen.

## Kapitel 2

# Building Information Modeling im Infrastrukturbereich

### 2.1 Begriffsdefinitionen und Auslegungen von BIM

Für den Begriff Building Information Modeling (BIM) existieren in der Literatur mittlerweile viele verschiedene Definitionen, die einige Aspekte unterschiedlich stark gewichten. Carmona und Irwin (2007) zitieren in ihrem Blogeintrag das National BIM Standards Committee:

*„There are currently almost as many definitions for BIM as there are people implementing them“* (Carmona und Irwin, 2007)

Diese Aussage verdeutlicht, dass viele verschiedene Aspekte unter diesen Begriff zusammengefasst werden können. Zahlreiche Definitionen vereint aber das Ziel nach konsistentem Datenmanagement und dem herstellerneutralen Austausch von Daten zwischen Projektbeteiligten, wie es beispielsweise in der Definition des Stufenplanes Digitales Planen und Bauen gefordert wird:

*„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015)

Die zwingende Verwendung von dreidimensionalen Geometriedaten wird hingegen nicht in allen Definition explizit eingefordert. Dennoch ist sie für zahlreiche Verwendungen eines BIM-Modells relevant und wird daher beispielsweise in der Definition nach Borrmann et al. (2015) explizit erwähnt:

*„Unter einem Building Information Model (BIM) versteht man ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks mit großer Informationstiefe. Dazu gehören neben der dreidimensionalen Geometrie der Bauteile vor allem auch nicht-geometrische Zusatzinformationen wie Typinformationen, technische Eigenschaften oder Kosten. Der Begriff Building Information Modeling beschreibt entsprechend den Vorgang zur Erschaffung, Änderung und Verwaltung eines solchen digitalen Bauwerkmodells mit Hilfe entsprechender Softwarewerkzeuge.“ (Borrmann et al., 2015)*

BIM lässt sich nicht auf den Einsatz einer konkreten Softwareapplikation oder eines proprietären Datenformates beschränken, vielmehr steht der Begriff als Zielsetzung für vernetztes Planen, Bauen und Betreiben (Azhar, 2011). Gleichzeitig soll mit dem Einsatz von *Bau-Information-Management-Systemen (BIM)* eine Verknüpfung zwischen modernen Programmen und der Einbindung von Normen und Richtlinien hergestellt werden (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2014).

Die konkreten Zielsetzungen, welche Informationen für welche Anwendungen wann bereitgestellt werden, hängen stark vom jeweiligen Projekt und den Zielen ab, die mit einem BIM-Modell erreicht werden sollen. Häufig beziehen sich diese Ziele neben der reinen Erzeugung eines dreidimensionalen Modells zu Zwecken der Visualisierung auf die Bündelung von Informationen verschiedener Fachplaner und Gewerke. Hierfür ist die vermehrte Nutzung von Plattformen für konsistentes Datenmanagement (auch bekannt als Common Data Environment (CDE)) und der Einsatz von Kommunikationsmethoden direkt am Bauwerksmodell sowie die Verwendung des digitalen Abbilds über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes anzustreben. Die Umsetzung erfordert häufig neuartige Denkweisen und Programme zur Projektabwicklung, die aufgrund von erhöhtem Arbeitsaufwand und unvertrauter Benutzeroberflächen von erfahrenen Planern häufig erst einmal kritisch bewertet werden, aber im Endergebnis einen Produktivitätsgewinn versprechen.

Der Einsatz von BIM-Methoden erschafft häufig neue Aufgabengebiete, die die Koordination der einzelnen Aktivitäten innerhalb eines Büros oder einer Projektgruppe betreffen. Diese Aufgaben wurden in der klassischen Planung zumeist von den Fachplanern selbst abgedeckt oder wurden nur mit untergeordnetem Interesse behandelt, was zu einer enormen Vielfalt von Darstellungen und Formulierungen sehr ähnlicher Sachverhalte geführt hat. Gerade bei Bauvorhaben, bei denen Bestandsanlagen berücksichtigt werden müssen, ist die Aufbereitung dieser Daten eine zeitaufwendige und wiederkehrende Tätigkeit, die durch den Einsatz von standardisierten Formaten und Methoden vereinfacht (aber nicht ersetzt) werden kann.

## 2.2 Anforderungen an ein BIM-Infrastrukturmodell

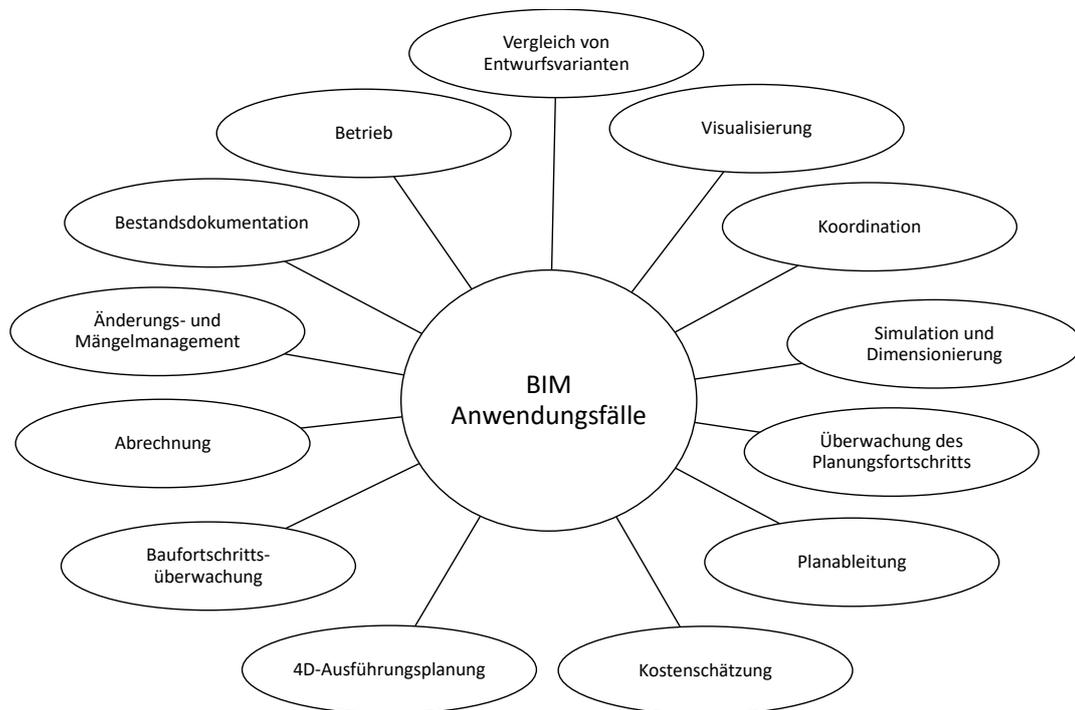
Neben verschiedenen Definitionen für den Begriff Building Information Modeling (BIM) gibt es hingegen auch zahlreiche Fehleinschätzungen, denen bei aller Aufbruchstimmung fachlich begegnet werden muss:

*„BIM heißt nicht, auf Knopfdruck bestimmte Informationen aus einem Modell zu extrahieren oder auszuwerten. Es ist keine „Black Box“, die mittels Automatismen alles vereinfacht. Mit einem BIM-Modell werden nur die Ziele erreicht, die vorher definiert wurden und es können nur jene Informationen ausgewertet werden, die auch eingepflegt wurden. Dabei bedeuten mehr Informationen auch mehr Aufwand in der Eingabe, dem muss der erhöhte Nutzen bei der Auswertung gegenübergestellt werden.“ (ZukunftBAU, 2014)*

Erwartungen und Anforderungen an den Einsatz von BIM-Methoden führen zwangsläufig zur Fragestellung, wann welche Informationen in welcher Detaillierung vorliegen müssen und wie sie ausgetauscht werden. Diese sind mittlerweile auch normativ in der ISO-Norm 19650 und dem britischen PAS-Standard 1192-2 erfasst worden. Damit einher gehen die spezifischen Aufgaben und Tätigkeiten, die der jeweilige Fachplaner mit den bereitgestellten Informationen ausführen möchte. Die exakten Informationsanforderungen hängen vom jeweiligen Bauwerk und seiner Funktion ab und werden im Regelfall in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) definiert (Liebich et al., 2018) (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015). Die Vielfalt der Bauwerke macht eine Pauschalierung der notwendigen Informationen unmöglich. In diesem Kapitel sollen dennoch ausgewählte Anwendungsfälle vorgestellt und ein Überblick erarbeitet werden, welche Parametergruppen ein Modell für einen konkreten Verwendungszweck enthalten sollte. Nicht immer müssen BIM-Daten zwangsläufig genaue dreidimensionale Geometrieinformationen beinhalten, es sind auch Anwendungsfälle denkbar, bei denen keine oder lediglich eine grobe dreidimensionale Geometriedarstellung für die nachfolgende Verwendung des Modells notwendig sein können (Hausknecht und Liebich, 2017).

### 2.2.1 Mögliche Anwendungsfälle

Wie erwähnt ist die Verwendung eines BIM-Modells stark von den Interessen der Projektbeteiligten und den zu bewältigenden Aufgaben abhängig. In einer Studie, die im Rahmen des Forschungsvorhabens *Bim4Infra 2020* durchgeführt wurde, wurden Ingenieurbüros in Deutschland befragt, für welche Anwendungsfälle sie in Zukunft Potenzial durch die Nutzung von BIM-Methoden sehen. Eine Auswahl der Anwendungsfälle ist in Abbildung 2.1 dargestellt (Borrmann, 2018).



**Abbildung 2.1:** Anwendungsfälle für BIM-Modelle im Infrastrukturbereich (Auswahl)

Die Anforderungen an die im BIM-Modell gespeicherten Informationen müssen mit fortschreitender Planung nicht zwangsläufig ansteigen, sondern können auch dazu führen, dass bereits erarbeitete Informationen wieder reduziert werden, um bestimmten Zwecken zu genügen. Beispielsweise spielen Informationen, die zur Bauablaufplanung in einem Modell hinterlegt wurden, bei der Verwendung in [CAFM](#)-Systemen keine oder lediglich eine sehr untergeordnete Rolle. Um ein Bauwerksmodell hingegen in der Betriebsphase einzusetzen, sind Informationen über Wartungszyklen und exakte Bezeichnungen von Ausrüstungsgegenständen von hoher Relevanz, die wiederum für die Tragwerksplanung oder das Bauprozessmanagement nur in vereinfachter Darstellung und mit einer geringen Anzahl an zugehörigen Eigenschaften benötigt werden.

Dennoch können einige pauschale Aussagen getroffen werden, welche Parametergruppen für welche Anwendungen in einem Modell vorhanden sein sollten. Diese sind in [Tabelle 2.1](#) dargestellt.

Aufgabe	Ziel	Anforderungen an die Geometrie	Anforderungen an die Semantik
Visualisierung	Erstellung von Renderings zB. für die Öffentlichkeitsarbeit	Hohe Detaillierung der Bauteilgeometrien	Beschreibung der Oberflächen, keine technischen Informationen notwendig
Geometrische Kollisionsprüfung	Überschneidungen von Bauteilen identifizieren	Mittlere bis hohe Detaillierung	Bezeichnung der Bauteile zur Erkennung
Fachliche Prüfung auf Einhaltung von Regeln	Prüfung des Modells auf die Einhaltung von Normen und Vorschriften	Gering, sofern die Prüfregeln nicht auf Geometrieinformationen basieren ggf. Verknüpfung mit Kollisionsprüfung	Hoher Bedarf an fachspezifischen Informationen, die Gegenstand der Regeltests sind
Bauablaufsimulation	Erstellung von Bauablaufplänen Überwachung des Baufortschrittes	Abhängig von der geometrischen Ausprägung des Bauteils	Fachspezifische Informationen zumeist von untergeordneter Bedeutung Wichtig sind vor allem Informationen, die die Zusammenarbeit mit anderen Gewerken betreffen
Nutzung im Betrieb	Überwachung, Planung von Wartung, Aktualisierung des Modells bei Umbauarbeiten oder Erweiterungen	Vereinfachungen ggü. Planungsmodellen möglich	Hoher Bedarf an fachspezifischen Bauteil-Informationen, die die Wartung/Instandsetzung und mögliche Fehlermeldungen betreffen
Mengenermittlung und Abrechnung	Ermittlung von Baukosten Nachtragsmanagement	Bei Komponenten, die nach Stückzahlen abgerechnet werden: exakte geometrische Beschreibung von untergeordneter Bedeutung Bei Komponenten, die nach Länge, Fläche oder Volumen abgerechnet werden: detaillierte Abmessungen erforderlich	Viele Informationen über Materialien und zusätzliche Bauteilanforderungen notwendig

**Tabelle 2.1:** Anforderungen an ein BIM-Modell zur Lösung verschiedener Anwendungsfälle

Um BIM-Modelle zu erstellen und die darin enthaltenen Daten auszuwerten, gibt es mittlerweile eine breite Palette an Programmen, die allerdings vorrangig hochbautypische Fragestellungen abdecken können.

## 2.3 Programme und Softwarelösungen für den Hochbau

Es gibt zahlreiche Werkzeuge, die im Zusammenspiel einen BIM-gestützten Arbeitsablauf ergeben können. Die Wahl des einzusetzenden Softwaretools hängt von der Zielsetzung ab, welche Daten bereits zur Verfügung stehen, welche Informationen durch den aktuellen Planungsschritt erstellt und wie das Ergebnis anschließend weitergegeben werden soll. Während BIM-Modellierungsprogramme eine Vielzahl an Funktionalitäten zur Erstellung und Modifizierung von Bauwerksmodellen bieten, gibt es unzählige weitere Applikationen, die zum Beispiel für die Modellprüfung, zur Koordination, Simulation und Animation eingesetzt werden können. Kein Programm kann allumfassende Funktionalitäten für alle denkbaren Nutzungen eines digitalen Bauwerksmodells bieten, da die Wünsche und Anforderungen zu vielfältig sind.

Im Folgenden werden einige bekannte Softwareanwendungen vorgestellt, die im deutschsprachigen Raum aktuell häufig eingesetzt werden. Diese sind nur begrenzt für die Verwendung in Infrastruktur-Vorhaben geeignet, bieten aber einzelne Funktionen, die zur Modellierung einzelner Bauteile in hoher Detaillierung dennoch sinnvoll einsetzbar sind.

### 2.3.1 Modellerstellung

In Deutschland werden zur Erstellung von Gebäudemodellen häufig Produkte der Firma Autodesk (Revit) sowie der Firmengruppe Nemetschek (Allplan) eingesetzt. In Architekturbüros kommt darüber hinaus häufig Graphisoft ArchiCAD zur Anwendung. Ein weiteres wichtiges Produkt, das unter anderem in staatlichen Behörden eingesetzt wird, ist Bentley AecoSIM. All diese Programme verfügen über zahlreiche Funktionen zur Modellierung von hochbautypischen Konstruktionsbauteilen wie Wände, Decken und Trägern sowie Ausstattungsgegenständen wie Fenster, Türen, Mobiliar oder Komponenten der technischen Gebäudeausstattung. Während ArchiCAD vorrangig auf die architektonische Gestaltung ausgelegt ist, können Revit und Allplan eher als ingenieurtechnische Werkzeuge angesehen werden, die häufig bereits innerhalb ihrer Oberflächen Funktionen zur statischen Vordimensionierung von Bauteilen anbieten. Alle genannten Programme bieten neben den Funktionen zur Modellerstellung auch Möglichkeiten zum Import und Export verschiedener Datenformate sowie Methoden zur Planableitung oder Modell-Visualisierung. Für die Erstellung von Modellen, die vorrangig Stahlbauteile sowie deren Verbindungen und Anschlüsse zwischen einzelnen Bauteilen beinhalten sollen, ist die Software Trimble Tekla Structures ein weiteres häufig verwendetes Programm.

Elemente, die nicht in den vordefinierten Bauteilbibliotheken der Programme enthalten sind, können häufig von dem Softwareanwender selbst erstellt werden. Bei geometrisch einfachen Körpern bieten die BIM-Autorenwerkzeuge dafür zumeist onBoard-Mittel. Um komplexere Geometrien und detailliertere Bauteile zu modellieren, können Programme zum Einsatz kommen, die ihren Ursprung im Maschinenbau haben. Die Erstellung eigener Bauteile erfordert neben der geometrischen Modellierung des Objektes auch die Erfassung nicht-geometrischer Parameter, die zur weiteren Verwendung des erstellten Bauteils in anderen Programmen benötigt werden.

Um die vorgestellten BIM-Autorenwerkzeuge für die Modellierung von Infrastruktur-Modellen verwenden zu können, müssen derzeit zahlreiche eigene Bauteile erstellt werden, da diese bis dato nicht in den allgemeinen Bauteilbibliotheken hinterlegt sind und die BIM-Autorenwerkzeuge zumeist nicht für diese Verwendung konzipiert wurden.

### 2.3.2 Zusammenführung von Teilmodellen

Die Erstellung eines digitalen Gebäudemodells erfolgt in den allermeisten Fällen in getrennten Fachmodellen. Dieser Umstand liegt einerseits in der gewerkweisen Vergabe von Aufgaben in einem Projekt begründet und bietet andererseits auch in rechtlichen Angelegenheiten Vorteile gegenüber der Zusammenarbeit und Erstellung in einem Gesamtmodell. Um einzelne Teilmodelle in ein umfassenderes Übermodell zusammenzuführen und Positionsinformationen zu den einzelnen Teilprojekten hinzuzufügen, werden Softwarepakete wie zum Beispiel Autodesk Navisworks oder Tekla BIMsight eingesetzt.

### 2.3.3 Modellprüfung

Der Begriff Modellprüfung gliedert sich in zwei Bereiche auf: Neben der Prüfung auf geometrische Kollisionen kann untersucht werden, ob Informationen vorhanden sind und diese den Normen und Richtlinien entsprechen, die für die Planung dieser Bauteile eingehalten werden müssen (Borrmann et al., 2015). Modellprüfungen können innerhalb einer Planungsgruppe durchgeführt werden, um die Einhaltung interner Modellierungsstandards zu überprüfen. Darüber hinaus finden sie Anwendung bei der Koordination von Teilmodellen und der Zusammenführung zu einem Gesamtmodell. Häufig sind Bauteile und deren Beziehungen untereinander in Fachmodellen gemäß den zu beachtenden Regeln und Vorschriften richtig modelliert, allerdings sind gerade die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Gewerken eine häufige Ursache für Konflikte in der Bauausführung. Kollisionskontrollen innerhalb der BIM-Planungsdaten können mögliche Probleme und Unstimmigkeiten bereits in frühen Planungsphasen identifizieren und sorgen damit für eine Senkung von Konflikten in der späteren Bauausführung (Nuttens et al., 2018).

Die Anwendung Solibri Model Checker ist eine weit verbreitete Softwarelösung, die neben der geometrischen Kollisionskontrolle auch Regeltestprüfungen ermöglicht. Modelle können dabei auf vordefinierte Regeln überprüft werden, die beispielsweise Anforderungen zur Dimensionierung von Fluchtwegen oder Bewegungsflächen für Rollstuhlfahrer beinhalten. Darüber hinaus ist es auch möglich, eigene Regeln zu formulieren (Preidel, 2014).

Auch das Softwareprodukt DESITE MD der Firma Ceapoint bietet Funktionalitäten zur Modellüberprüfung an und kann mit zahlreichen Dateiformaten genutzt werden. Außerdem können verschiedenste Simulationen und Berechnungen an BIM-Modellen durchgeführt werden (Ceapoint, 2018).

### 2.3.4 BIM-Viewer und Datenaufbereitung

Neben den bereits vorgestellten Anwendungen gibt es eine Vielzahl an Produkten, die die visuelle Aufbereitung der in einem Modell enthaltenen Informationen ermöglichen. Dabei kann zwischen lokal installierten und serverbasierten Lösungen unterschieden werden. Besonderes Augenmerk liegt in diesem Bereich auch auf der Verknüpfung von BIM-Modellen und Prozessabläufen sowie dem Vergleich zwischen geplanten Zeitplänen und tatsächlicher Bauausführung. Diese Aufgaben werden beispielsweise mit dem bereits genannten Programm DESITE MD oder RIB iTwo 5D bearbeitet. Letzteres wird häufig zur Mengenermittlung, Ausschreibung und für die Projektabrechnung eingesetzt. Darauf aufbauend erweitern auch Anbieter von Projektplattformen zunehmend die Möglichkeiten, BIM-basierende Daten zu verwalten.

## 2.4 Datenaustausch im Kontext von Open BIM und Closed BIM

Die Austausch von Informationen erfolgt über verschiedene Dateiformate. Dabei unterscheidet man zwischen offenen, hersteller-neutralen und geschlossenen, proprietären Formaten. Closed-BIM-Schnittstellen existieren häufig zwischen Programmen des gleichen Herstellers. Der Vorteil von geschlossenen Formaten ist die Tatsache, dass die Importschnittstellen der empfangenden Anwendung exakt auf die zu erwartenden Daten abgestimmt werden können. Dadurch können die Informationen häufig in einer höheren Qualität und geringer Fehleranfälligkeit von Programm zu Programm transportiert werden.

Open-BIM-Formate verfolgen den Ansatz, dass Daten unabhängig von Programmen und Herstellern verbreitet werden können. Da offene Austauschschnittstellen eine Vielzahl von Belangen verschiedenster Beteiligter abdecken müssen, werden manche produktspezifischen Informationen häufig nicht in einem allgemeinen Datenformat abgebildet. Offene Datenformate verfolgen allerdings auch nicht den Anspruch, proprietäre Formate zu ersetzen, sondern sollen einen Standard zur interdisziplinären Zusammenarbeit in verschiedensten Anwendungsfällen bieten. Das bekannteste Datenaustauschformat für digitale Bauwerkmodelle ist das Konzept der Industry Foundation Classes (IFC). Einige Hersteller bieten für ihre Produkte neben verschiedenen Schnittstellen zum Im- und Export verschiedener Datenformate auch ein Application Programming Interface (API) an. Diese Programmierschnittstelle kann für das Hinzufügen von benutzerangepassten Funktionalitäten verwendet oder zum Import und Export eigener Datenstrukturen genutzt werden. Auch Methoden der visuellen Programmierung spielen eine zunehmende Rolle, da sie eine schnelle und flexible Verkettung von Standardbefehlen ermöglichen und gleichzeitig leicht erlernbar sind.

Neben der Unterscheidung in das Open- und Closed-BIM-Konzept werden weitergehend die Begriffe *Big BIM* und *Little BIM* unterschieden. Das Little-BIM-Konzept bezeichnet dabei eine Arbeitsweise, in der zwar ein Planer dreidimensionale Geometriedaten mit semantischen Informationen zur Erfüllung seiner Planungsaufgabe verwendet, diese Daten aber nicht für die folgenden Planungsschritte bereitstellt, sondern die Datenweitergabe auf Grundlage von zweidimensionalen Plänen und Tabellen erfolgt. Als Big-BIM wird hingegen die Arbeitsweise bezeichnet, bei der die erzeugten Daten so weitergegeben werden, dass andere Projektbeteiligte in den folgenden Prozessen ohne manueller Wiedereingabe der bereits erarbeiteten Informationen in ihre Fach-Software weiterarbeiten können (Borrmann et al., 2015).

### 2.4.1 Datenaustauschformate in BIM-basierenden Planungsprozessen

IFC stellt ein offenes und hersteller-neutrales Datenformat dar, welches zur Weitergabe von BIM-Modellen dient und eine Möglichkeit zum Datenaustausch im Sinne des *Big Open BIM* bietet (BuildingSMART, 2018b). Dieses Format wird von buildingSMART international (bSi) unterhalten und von der Community ständig erweitert. Technisch basiert das Format auf der Sprache EXPRESS, welche durch die ISO-Norm 10303-11 definiert ist und eine *Data Definition Language* darstellt (BuildingSMART, 2018c).

Derzeit stehen die Versionen IFC2x3 sowie IFC 4.1 für die praktische Verwendung zur Verfügung. In Vorbereitung befindet sich bereits Version 5, mit deren Einführung aber erst in den nächsten Jahren zu rechnen ist (BuildingSMART, 2018c). Softwarehersteller können sich von buildingSMART international ihre Import- und Exportschnittstellen für das IFC-Format zertifizieren lassen, was ein wichtiger Bestandteil für effektive Zusammenarbeit darstellt. Nur wenn die ausgetauschten Daten von dem sendendem und empfangendem Programm in gleicher Weise interpretiert werden, kann eine sinnvolle Weitergabe erfolgen und die gewünschte Datenkonsistenz erfüllt werden.

Mit der Einführung von Version 4 wurden dem IFC-Schema diverse Klassen für die Georeferenzierung von Objekten hinzugefügt, die den Grundstein für die Verwendung im Infrastrukturbereich legen. Mit IFC 4x1 wurde das *IfcAlignment* hinzugefügt, welches zur Abbildung der Trassierung von Verkehrswegen aller Art verwendet werden kann (Markič et al., 2018). Derzeit befindet sich das Projekt 'buildingSMART for Infrastructure' mit den Teilprojekten 'IFC Rail', 'IFC Bridge' und 'IFC Road' in Bearbeitung (BuildingSMART, 2018a).

Da in der Regel nicht alle in einem IFC-Modell enthaltenen Informationen für einen bestimmten Anwendungsfall notwendig sind, wurde das Konzept zur Beschreibung verschiedener Modellansichten (auch als Model View Definitions (MVD) bekannt) entwickelt. Mit MVDs kann eine Teilmenge von Attributen eines IFC-Modells beschrieben werden und somit die Gesamtheit an Informationen auf ein für den Anwendungsfall notwendiges Maß reduziert werden (See et al., 2012).

Zu Kommunikation von Fehlern oder Aufgaben zwischen verschiedenen Projektbeteiligten existiert zudem das BIM Collaboration Format (**BCF**), welches ebenfalls von *buildingSMART* entwickelt wurde. Dieses ist - wie auch **IFC** - ein herstellerunabhängiges Dateiformat, das von zahlreichen Programmen exportiert und importiert werden kann. Viele serverbasierte Austauschplattformen können **BCF**-Dateien in Browseroberflächen darstellen, obgleich die Bearbeitung und Lösung der vermerkten Aufgaben nur in den Modellierungswerkzeugen und in der Regel nicht direkt auf den Austauschplattformen erfolgt.

## 2.5 Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei BIM in der Infrastrukturplanung

### 2.5.1 Ursprünge und Strukturen

Einige Methoden, die für hochbautypische Fragestellungen entwickelt wurden, können in der Planung und Bauausführung von Infrastrukturprojekten adaptiert werden. Beispielsweise spielt es für die geometrische Kollisionsprüfung keine Rolle, ob die kollidierenden Bauteile auf Grundlage einer standardisierten Bauteilbibliothek erstellt oder extra für dieses Projekt modelliert wurden. Entscheidend ist hier lediglich eine angemessen genaue geometrische Modellierung.

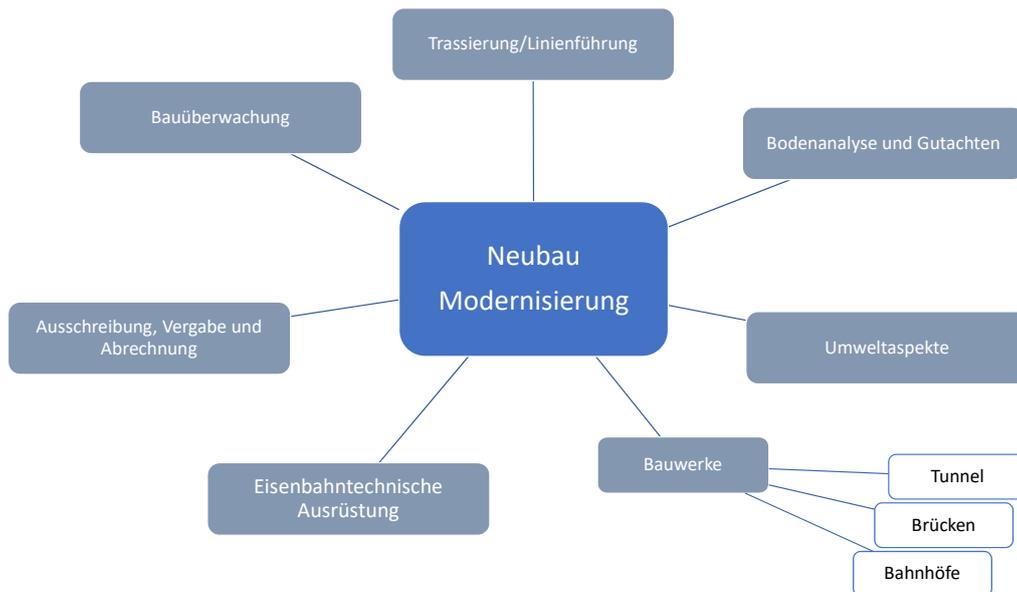
Eines der großen Probleme, aufgrund dessen bestehende BIM-Autorenwerkzeuge aus dem Hochbau-Sektor nicht ohne weiteres für linienartige und großflächige Bauvorhaben verwendet werden können, stellt allerdings die räumliche Ausdehnung der Projekte dar. BIM-Autorenwerkzeuge sind auf die Anordnung von Bauteilen in einem räumlich begrenzten Raster ausgelegt, welches sich über einige einhundert Meter erstrecken kann. Bei linienartigen Vorhaben im Infrastrukturbereich wird hingegen mit räumlichen Ausdehnungen von mehreren Kilometern gearbeitet, woraus völlig andere Anforderungen an die Bedienbarkeit eines Programmes entstehen.

Trotz dieser Einschränkungen und der Tatsache, dass das **IFC**-Datenformat noch keine Datenstrukturen für die Erfassung von Komponenten des Tiefbau- und Infrastrukturbereichs enthält, ist es durch den Einsatz von eigens erstellten Objekten und der Verwendung von *IfcProxy*-Elementen trotzdem möglich, bereits heute Modelle zu erstellen, die innerhalb der Infrastrukturplanung und dem anschließenden Betrieb eingesetzt werden könnten.

### 2.5.2 Beteiligte Gewerke bei der Planung von Eisenbahntrassen

Neben veränderten Anforderungen an die Modellerstellung unterscheiden sich Vorhaben im Hoch- und Infrastrukturbau auch in den beteiligten Gewerken. Um den Bedarf an verschiede-

nen Planungs- und Analysewerkzeugen im Infrastrukturbau aufzuzeigen, gibt Abbildung 2.2 eine Übersicht über verschiedene Fachdisziplinen, die häufig bei Neubau- oder Modernisierungsprojekten im Eisenbahnbau beteiligt sind.



**Abbildung 2.2:** Beteiligte Fachplaner im Planungsprozess einer Eisenbahnstrecke (Auswahl)

Häufig treten bei der Planung von Ausrüstungskomponenten zusätzliche Interaktionen mit benachbarten Objekten auf. Bahnübergänge und Brückenbauwerke über andere Verkehrswege wie Straßen und Kanäle erfordern zum Beispiel die zusätzliche Berücksichtigung der kreuzenden Straßentrassierung. Auch weitere Fragestellungen, die zum Beispiel den Umgang mit vorhandenem Bodenmaterial betreffen, dürfen häufig nicht vernachlässigt werden und bilden wiederum ein ganz eigenes Forschungsgebiet im Bereich des Building Information Modeling.

Buder (2017) gibt einen detaillierteren Überblick über die beteiligten Fachgewerke, die an der Planung der eisenbahntechnischen Ausrüstung mitwirken. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 2.3 visualisiert.

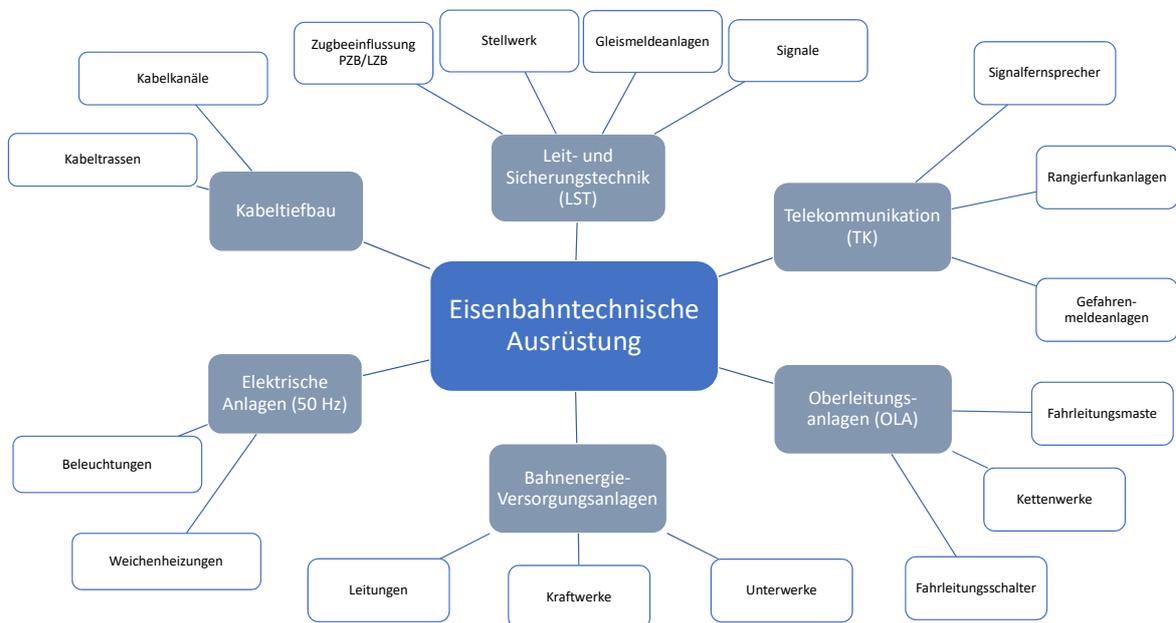


Abbildung 2.3: Gewerke der eisenbahntechnischen Ausrüstung

### 2.5.3 Softwarelösungen für die Planung von Bahnausrüstungstechnik

Für annähernd alle eisenbahnplanerischen Aufgaben existieren etablierte Softwareanwendungen, die allerdings den BIM-Gedanken der vernetzten Planung und Weiterverwendung von Informationen (noch) nicht vollumfänglich unterstützen. Einige Hersteller zeigen allerdings erste prototypische Erweiterungen ihrer Programme, die in Zukunft Export- und Import-schnittstellen in verschiedene (herstellerunabhängige) Formate ermöglichen werden.

Die Planung von Leit- und Sicherungstechnik (LST) erfolgt in der Regel mit Programmen, die von anderen Gewerken weitgehend entkoppelt sind. In Deutschland ist hierfür das Programm *ProSig* der Firma WSP ein markt-etablierter Standard, der lange Zeit im Normen-text *DB-Richtlinie 819.9002 "LST-Anlagen planen - Symbole für sicherungstechnische Pläne"* der Deutschen Bahn namentlich benannt wird (IVV GmbH, 2018). Die Zertifizierung ist in Abbildung 2.4 ersichtlich und ist auf dem Internetauftritt des Softwareherstellers öffentlich einsehbar.



**Abbildung 2.4:** Zertifikat über die Softwarenutzung für die Planung auf Grundlage der DB-Richtlinie 819.9002

Bei ProSig handelt es sich um eine auf AutoCAD-basierende Applikation, die in den letzten Jahren von einem reinen zeichnungsbasierten Tool hin zu einer objektorientierten Umgebung entwickelt wurde. Es kann neben der Planung von LST-Komponenten auch für die Planung von Bahnübergängen sowie zur Planung der zugehörigen Kabeltrassen verwendet werden (IVV GmbH, 2018).

Die Datengrundlage für die Planung von LST-Komponenten bilden die erzeugten Informationen der Trassenplanung, die entweder in dokumentarischer Form oder als CAD-Datei importiert werden können. Für Bestandsstrecken sind zudem die Informationen heranzuziehen, die aus den Bestandsarchiven der Deutschen Bahn bezogen werden können. Aufgrund mangelnder Datenpflege weicht der dokumentierte Stand der technischen Ausstattung in vielen Fällen von der gebauten Realität ab, sodass zu Beginn der Planung zumeist ein umfangreicher Abgleich der zur Verfügung stehenden Daten erforderlich ist. Dafür sind ebenfalls verschiedene Softwaretools auf dem Markt erhältlich, die diesen Datenabgleich unterstützen (Wenzel et al., 2015).

Mit ProSig können die Bauteile der Gleislage und zahlreiche weitere Elemente der LST wie Signalanlagen und Kabeltrassen geplant werden. Außerdem ist es möglich, verschiedene Bauzustände zu erfassen sowie Ausbau- und Einbauzustände einzelner Komponenten detailliert zu planen.

Als Ergebnis können diverse Lagepläne und Elementübersichten in Tabellenform für die Fortführung der Planung bereitgestellt werden. Im Übrigen bietet ProSig die Möglichkeit, die erzeugten Planungsdaten in eine PlanPro-Datei zu exportieren, welche im Kapitel 3 ausführlicher vorgestellt wird.

### **Fazit BIM im Infrastrukturbereich**

Derzeit werden überwiegend Programme für die Erstellung von BIM-Infrastrukturmodellen eingesetzt, die ursprünglich für den Hochbau konzipiert wurden. Das Ziel, detaillierte geometrische Bauteilkörper mit nicht-geometrischen Informationen zu verknüpfen, kann dabei in vielen Fällen auch ohne standardisierter Bauteilfamilien erreicht werden. Wie auch in anderen Bereichen, in denen BIM-Methoden zunehmend eingesetzt werden, sieht auch die Deutsche Bahn und ihre Projektpartner BIM-Technologien als zukunftsweisend an (Ehrbar und DB Netz AG, 2016) (DB Netz AG, 2018).

Der Austausch dieser Modelle mithilfe parametrisierter IFC-Proxy-Elementen kann als zielführend angesehen werden, um Planungsdaten zu übertragen, für die noch keine eigenen Klassen in der IFC-Klassenstruktur verfügbar sind. Damit einher geht, dass viele Firmen eigene Parameteranforderungen definieren, die sie für die weitere Verwendung der Modelle benötigen. Dieser Ansatz unterstützt zwar die Einführung und Entwicklung von BIM-Methoden im Infrastrukturbereich und greift auf vorhandene etablierte Konzepte zurück, führt aber auch zu einer Vielzahl an unterschiedlichen Strukturen, wann welches Bauteil welche Attribute aufweisen muss. Dieser Sachverhalt ist kritisch zu bewerten, da die Weiterverarbeitung der Daten stark von verwendetem Parametrisierung und deren Benennung abhängt. Applikationen, die diese Modelle anschließend verarbeiten sollen, müssen folglich auf die spezifische Parameterstruktur abgestimmt werden, das im Gegensatz zum Ziel der durchgängigen Planung stehen kann.

Standardisierungsprozesse sind zeitaufwendig und hängen von der Konsensfindung zwischen vielen verschiedenen Beteiligten ab, was gerade in historisch gewachsenen Gewerken mit einer Vielzahl an nationalen Sonderregeln und -konstruktionen große Schwierigkeiten bereiten kann. Dennoch ist es der richtige Weg, allgemeine Konzepte zur Datenspeicherung, zum Datenaustausch und zur Datenarchivierung zu erschaffen, welche von Softwareherstellern mit möglichst exakten Schnittstellen unterstützt werden sollten.

Da derzeit noch keine BIM-Autorenwerkzeuge verfügbar sind, mit denen einerseits die Belange der linienartigen Vorhaben abgedeckt werden können und andererseits eine ähnlich hohe Detaillierung der Bauteile wie in Hochbau-Modellen erreicht werden kann, wurden zwischenzeitlich einige Plugin-Lösungen entwickelt, die die Funktionalitäten bestehender BIM-Programme für Infrastrukturbelange erweitern. Ein Beispiel für ein solches Plugin ist das Revit-Plugin *iceBIMrail*, mit dem Bahnsteiganlagen für die *DB Station und Service AG* geplant werden können.

Betrachtet man **BIM** aus der Perspektive, dass wiederkehrende und fehleranfällige Aufgaben durch den Einsatz von Softwarelösungen erleichtert werden sollen, so können einige Programme, die derzeit für die Planung von eisenbahntechnischer Ausrüstung eingesetzt werden, bereits als LITte-Closed-Bim-Lösungen angesehen werden. Die BIM-Fähigkeit eines Programmes kann in aller Regel nicht binär mit ja oder nein beantwortet werden, sondern bemisst sich daran, für welche Zwecke die erzeugten Daten genutzt werden sollen.

Derzeit laufen verschiedene Forschungsvorhaben, die die breite Einführung von BIM-Methoden in Deutschland untersuchen (DB Engineering & Consulting AG, 2018). Dabei werden neben den bereits benannten Herausforderungen auch Aspekte wie der Planungsgeheimnis durch Behörden betrachtet.

Für den Einsatz von BIM-Methoden bei der Planung von Leit- und Sicherungstechnik (**LST**) wurde das Forschungsvorhaben *RIMcomb* ins Leben gerufen, an dem neben der TU München auch die Industriepartner AEC3 sowie Signon beteiligt sind. Dabei soll ein Datenmodell zur Erfassung von Bauteilen erarbeitet werden, die für den sicheren Betrieb des Eisenbahnverkehrs notwendig sind. Des Weiteren ist es das Ziel, erstellte Planungsdaten auf Plausibilität zu prüfen und Möglichkeiten zur modellbasierten Zusammenarbeit in der Planung von Bahnausrüstungstechnik zu testen. Da ein großer Teil der **LST**-Planungsaufgaben in Bestandsanlagen durchgeführt werden muss, spielt auch die Erfassung und Prüfung von Bestandsdaten eine erhebliche Rolle im Forschungsvorhaben (Lehrstuhl für computergestützte Modellierung und Simulation - Technische Universität München, 2018).

### Offene Austauschformate für Infrastruktur-Planungen

Auch wenn derzeit noch kein Datenformat im Stande ist, alle beteiligten Gewerke eines Infrastruktur-Vorhabens in einem offenen Datenaustauschformat abzubilden (wie es IFC für Hochbauprojekte in weiten Teilen bereits ermöglicht), gibt es offene Austauschformate für Teilbereiche, die fachliche Informationen eines Gewerks in hohem Detaillierungsgrad tragen können. Für die Erfassung von Daten, die den Bau und Betrieb von Straßen betreffen, existiert in Deutschland der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (**OKSTRA**). Zur Abbildung von Leit- und Sicherungstechnik (**LST**) im Eisenbahnbetrieb stellt das Datenformat PlanPro ein ähnliche Speicherstruktur da, wie sie **OKSTRA** aufweist. Beide Formate

sind in deutscher Sprache verfasst und bilden zahlreiche Zusammenhänge und Objekte ab, die allerdings nicht zwingend direkt einer internationalen Normung zugeführt werden können.

**OKSTRA** ist eine Objektbibliothek, die alle Bereiche des ersten Entwurfs einer Straße bis hin zur Bestandsdokumentation und ihrer Nutzung abdeckt. Dieses XML-basierte Datenschema wurde im Jahre 2000 durch das deutsche Bundesverkehrsministerium eingeführt und umfasst derzeit knapp 40 Bauteilpakete, die als **XSD**-Dateien zur Verfügung stehen. **OKSTRA** ist ein auf Deutschland beschränktes Austauschformat, welches vorrangig auf die Attribute von Bauteilen und nicht auf die detaillierte Abbildung von Bauteilgeometrien ausgelegt ist (Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, 2018)

Der Austausch von Planungsdaten, die Eigenschaften von Eisenbahnanlagen betreffen, erfolgt bisher vorrangig in Papierform oder in digitalen Formaten, die eine manuelle Wiedereingabe in die Softwareumgebung des jeweiligen Planers erfordern. Dies hatte zur Folge, dass es bereits einzelne Forschungsinitiativen zur Schaffung von spezialisierten Datenmodellen gab, um Anforderungen bezüglich der Datenqualität bei dem Austausch zwischen verschiedenen Systemen effektiver zu erfüllen (Wunsch und Jaekel, 2017). Beispiele dafür sind die Datenformate PlanPro sowie RailML, wobei letzteres zusammen mit dem *RailTopoModel* einen standardisierten Datenaustausch für Schienenverkehrsdaten darstellen soll (RailTopoModel, 2018). Sowohl PlanPro als auch RailML wurden vorrangig zur Übergabe von Prozessdaten erschaffen. Die Erfassung von Geometrie erfolgt lediglich über Verweise, was eine direkte dreidimensionale Darstellung nur über Umwege ermöglicht.

Das Datenformat PlanPro wird in Kapitel 3 vorgestellt. Auf der Basis der allgemeinen Anforderungen und Zielsetzungen an ein BIM-Infrastrukturmodell soll erörtert und bewertet werden, für welche Anwendungsfälle das auf Grundlage von PlanPro erzeugte BIM-Modell nutzbar erscheint. Weiter soll aufgezeigt werden, für welche Zwecke zusätzliche Informationen notwendig sind, die für die Bearbeitung anspruchsvollerer Anwendungsfälle erforderlich sind.

## Kapitel 3

# Das Datenaustauschformat PlanPro

### 3.1 Allgemeines

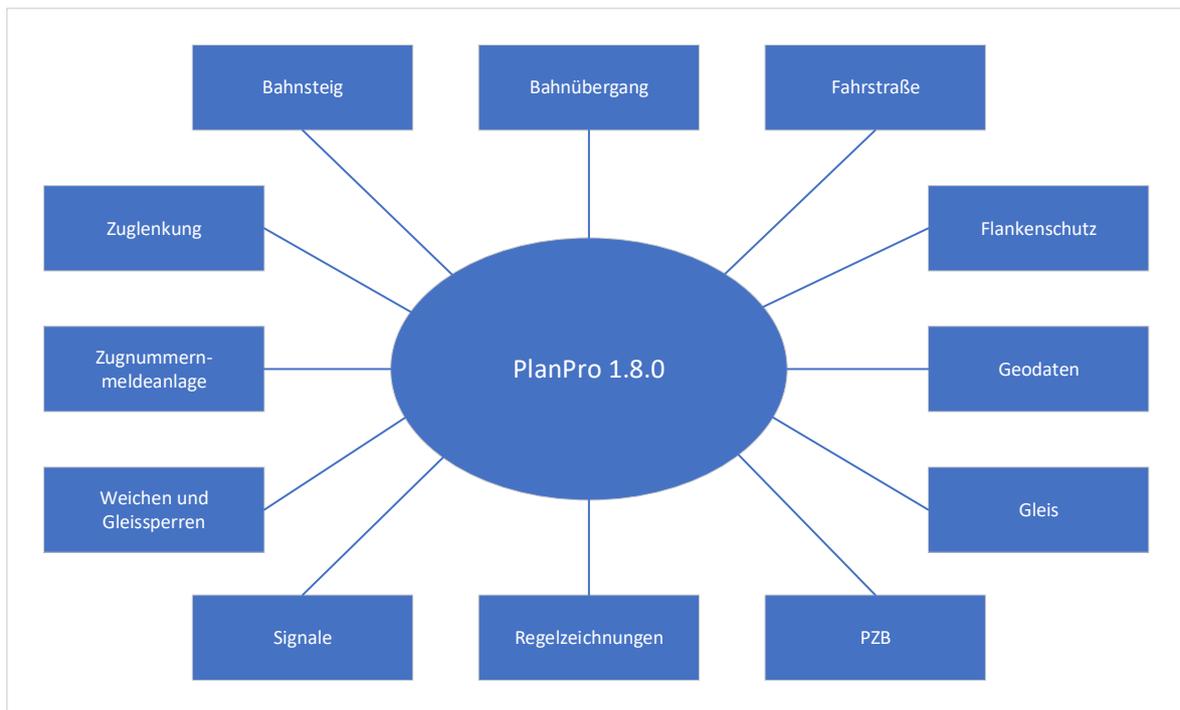
Im Abschnitt 2.5.3 wurden bereits einige Speicherformate zum Austausch von fachlichen Informationen vorgestellt. Eine dieser Datenstrukturen ist das Datenformat PlanPro. Dieses soll Planern die durchgehende, elektronische Datenhaltung bei der gesamten Planung von Leit- und Sicherungstechnik ermöglichen, die im Laufe des Entwurfs eines elektronischen Stellwerks (ESTW) entstehen (Uminski, 2014). Konkret bedeutet dies, dass bereits erarbeitete Daten weitergegeben und eigene Planungsergebnisse in bestehende Projekte ergänzt werden können. Langfristiges Ziel ist die Konzeption einer Datenbankstruktur, in die alle Informationen über bestehende sowie neu geplante und auszuführenden LST-Komponenten gespeichert werden (Buder, 2017). Neben der konsistenten Datenhaltung in der Planungsphase ist es das erklärte Ziel, die erzeugten Daten dem Betrieb des ESTW zuzuführen und die Vielfalt an Darstellungsarten für ein und die selbe Information zu vereinheitlichen (Maschek et al., 2012). Auch die Weiterentwicklung von elektronischen Stellwerken hin zu digitalen Stellwerken (DSTW) soll zukünftig unter Verwendung allgemeiner Datenschnittstellen für den Planungsprozess erfolgen (Weihgold und Deutsche Bahn AG, 2018).

Das Datenformat PlanPro ist aus dem Projekt "Durchgängige Elektronische Datenhaltung im ESTW-Planungsprozess (PlanPro)" hervorgegangen, an dem die DB Netz AG, die Softwarefirmen WSP (früher IVV) und Scheidt Bachmann System Technik (früher Funkwerk IT), die Professur für Verkehrssicherungstechnik der Technischen Universität Dresden sowie ausgewählte erfahrene LST-Fachplaner der DB ProjektBau, DB International und externe Ingenieurbüros beteiligt waren (Buder und Maschek, 2017).

PlanPro ist ein herstellerunabhängiges Datenformat und wurde im PlanPro-Projekt seit 2008 als eines der Arbeitspakete erarbeitet, welches vom *Arbeitskreis Datenmodell* bearbeitet wurde (Buder und Maschek, 2017). In diesem Datenschema werden zahlreiche Informationen

über Komponenten erfasst, die für die Organisation des Zugverkehrs notwendig sind und die Grundlage für moderne elektronische Stellwerke bilden. Das Ziel ist die konsistente Datenweitergabe im Planungsprozess bis hin zur Anwendung der Daten im Stellwerk.

Abbildung 3.1 gibt einen ersten Einblick über die implementierten Ausrüstungsgegenstände, die in der aktuellen Version 1.8.0 enthalten sind.



**Abbildung 3.1:** Im PlanPro-Schema erfasste Ausrüstungskomponenten

Das Datenmodell befindet sich nach wie vor in Entwicklung und wird in den nächsten Jahren um weitere Elemente ergänzt werden.

## 3.2 Verwendung von PlanPro

Wie Wenzel et al. (2015) ausführen werden die Projektphasen und -inhalte, die unter anderem die Eisenbahnausrüstungstechnik betreffen, in der Richtlinie RIL 809 definiert. Die Planung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) teilt sich in zwei große Phasen auf. Die Erstellung der Ausführungsplanung Planteil 1 (AP PT 1) wird herstellernerneutral durchgeführt und beinhaltet alle logischen Informationen, die für den sicheren Betrieb des zu planenden Bereiches notwendig sind. Nach der daran anschließenden Vergabe an einen Hersteller wird die Ausführungsplanung Planteil 2 (AP PT 2) erstellt, welche neben den Informationen aus dem PT 1 zusätzliche herstellerepezifische Parameter beinhaltet (Buder, 2017).

Derzeit ist die Palette an Programmen, die PlanPro-Daten verarbeiten können, noch überschaubar. Neben dem bereits in Kapitel 2 benannten Programm ProSig gibt es einen *PlanPro-Werkzeugkasten*. Zukünftig soll PlanPro auch für die Betriebs- und Stellwerksimulation ([BEST](#)) herangezogen werden (Scheidt&Bachmann GmbH, 2018). Außerdem sollen PlanPro-Daten für die Planung von europaweiten Steuerungssystemen im Eisenbahnverkehr verwendet werden (European Train Control System ([ETCS](#))) (Wenzel und Perchtold, 2015) (Wenzel et al., 2015).

Neben der reinen Datenübergabe zwischen verschiedenen Projektbeteiligten besteht der Wunsch nach Vereinheitlichung der Informationsdarstellung sowie das Bestreben, erzeugte Daten auf die Einhaltung geltender Regeln und Richtlinien zu überprüfen.

### 3.3 Technische Analyse des Datenmodells

PlanPro basiert auf der Extensible Markup Language ([XML](#)). Dabei handelt es sich um eine offene, textbasierte Auszeichnungssprache, die zur Speicherung und Weitergabe von strukturierten Daten verwendet werden kann. Grundsätzlich können Daten in einer XML-Datei beliebig deklariert und angeordnet werden. Das World Wide Web Consortium ([W3C](#)) hat allerdings Regeln veröffentlicht, welche die zu verwendenden Strukturen standardisieren (World Wide Web Consortium, 2018).

Im Folgenden werden einige Grundlagen und Standards zur Formulierung von XML-Dokumenten vorgestellt und anschließend wird auf die Implementierung dieser Regeln im PlanPro-Schema eingegangen.

#### 3.3.1 Allgemeine Grundlagen der Extensible Markup Language

Ein XML-Dokument beginnt mit der Definition des verwendeten Standards (sofern es den Vorgaben der [W3C](#) folgt), anschließend folgt die Definition des Hauptelements:

**Code 3.1:** Definition der verwendeten XML-Version

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <nsPlanPro:PlanPro_Schnittstelle>
3 <!-- Enthaltene Daten -->
4 </nsPlanPro:PlanPro_Schnittstelle>
```

Wie im Codebeispiel zu erkennen ist, sind XML-Dateien sowohl menschen- als auch maschinenlesbar, da sie aus UTF-8 Zeichen bestehen. Somit können diese Dateien in allen UTF-8-fähigen Editoren angezeigt und bearbeitet werden. Die Dokumente werden durch so genannte Tags strukturiert, die immer paarweise auftreten und somit Elemente definieren. Der Beginn eines Elements wird durch einen Starttag `<absatz>` gekennzeichnet. Um ein Element

zu schließen, wird ein Endtag `</absatz>` gesetzt. Für Elemente, die entweder leer sind, oder keine Kind-Elemente besitzen, ist zusätzlich die Form `<absatz />` als Kombination aus Start- und Endtag möglich (Rotard, 2005).

Alle Elemente sind hierarchisch in einer Baumstruktur angeordnet, sodass die Verschachtelung von Elementen leicht überprüfbar ist. Zusätzlich können Elemente auch Attribute enthalten, die in der XML-Datei folgendermaßen repräsentiert sind:

**Code 3.2:** Verwendung von Elementen und Attributen

```
1 <Signal.Signalbegriff >
2   <Identitaet >
3     <Wert>2AB3CC0E-5E11-4640-A819-DE387E092F46</Wert>
4   </Identitaet >
5   <Signalbegriff.ID xsi:type="nsSignalbegriffe_Ril_301:Ra_12"/>
6 </Signal.Signalbegriff >
```

Der Attributname wird im Starttag angegeben, der Wert des Attributs folgt in Anführungsstrichen. Einem Attribut kann immer nur ein einziger Wert zugeordnet werden, was die Verwendung oder Erweiterbarkeit einschränkt. Daher wird häufig anstelle eines Attributes ein weiteres Kind-Element angeordnet.

### 3.3.2 Kriterien zur Gestalt einer XML-Datei

Die Struktur eines XML-Dokuments wird durch die so genannte Document Type Definition (DTD) definiert. In diesen Text-Dateien, die ebenfalls XML-artiger Natur sind, können unter anderem Datentypen, die verpflichtende Anwesenheit von Elementen oder Kardinalitäten zwischen verschiedenen Elementen festgelegt werden. DTDs können entweder zu Beginn eines XML-Dokuments platziert oder über separate XML Schema Definition (XSD)-Dateien bereitgestellt werden. Um mithilfe von XML-Parsern Inhalte einer XML-Datei in eine Klassenstruktur einlesen zu können, muss die Parser-Funktion die Struktur der einzulesenden XML-Datei kennen. Um aus XSD-Daten eine Klassenstruktur für eine bestimmte Programmiersprache zu erzeugen, sind verschiedene Übersetzungsprogramme erhältlich, einige werden in Kapitel 3.4.1 vorgestellt.

Um die Qualität eines XML-Dokumentes zu beschreiben, existieren folgende zwei Definitionen:

#### - Wohlgeformtheit

Weist ein Dokument den Prolog auf (Definition der verwendeten Version) und ist die Baumstruktur konsistent (alle Elemente werden korrekt geöffnet und wieder geschlossen, Attribute werden in Anführungszeichen angegeben), spricht man von einem wohlgeformten Dokument.

#### - Gültigkeit

Eine XML-Datei wird als gültig bezeichnet, wenn sie den Vorgaben der [DTD](#) entspricht.

(Rotard, 2005)

### 3.3.3 Umsetzung der XML-Standards im PlanPro-Projekt

PlanPro-Projektdateien und ihre zugehörigen [DTDs](#) werden getrennt ausgeliefert. Die XSD-Dateien gliedern sich bei der vorliegenden Version 1.8.0 in insgesamt 22 Einzeldateien auf, die verschiedene Bereiche behandeln. Die Datei *PlanPro.XSD* bindet alle zusätzlichen Definitionsdateien ein, die für das Grundgerüst notwendig sind.

Mit Version 1.6.0 wurden die Dateien *Signalbegriffe Ril 301.XSD* sowie *Signalbegriffe Struktur.XSD* ausgelagert, um deren Inhalt unabhängig von der Grundstruktur austauschen zu können (Bleidiessel, 2013).

In PlanPro wird fast komplett auf die Definition von Attributen verzichtet und stattdessen alle Eigenschaften als eigene Unter-Elemente modelliert (Lehnert et al., 2018). Das unterste Element in der Baumstruktur, das zumeist den konkreten Wert trägt, ist mit *Wert* bezeichnet. Ein Beispiel für diesen Sachverhalt wird in folgendem Codeausschnitt ersichtlich:

**Code 3.3:** Implementierung des Wert-Elements

```

1 <Basis_Objekt_Allg>
2   <Datum_Regelwerk>
3     <Wert>2012-02-24</Wert>
4   </Datum_Regelwerk>
5 </Basis_Objekt_Allg>

```

Wie zuvor beschrieben, kann sich die Verwendung von Attributen einschränkend auf die Weiterentwicklung einer XML-Struktur auswirken. Dennoch weist das PlanPro-Schema zahlreiche Elemente auf, deren Eigenschaften nicht als Kind-Elemente hätten realisiert werden müssen, sondern auch durch Attribute abbildbar wären, da eine Erweiterung der Baumstruktur nicht zu erwarten sein dürfte.

Folgende Beispiele verdeutlichen getroffene Einschränkungen für Datentypen oder Wertebereiche, die durch Enumerationen beschränkt werden können:

**Code 3.4:** Definition des Typs Text, Vorgabe zur zulässigen Länge der Zeichenfolge

```

1 <xs:simpleType name="TText">
2   <xs:annotation>
3     <xs:documentation
4       xmlns:ppi="http://www.plan-pro.org/modell/PlanProInformation">
5       Beschränkt die Befuellung auf Fliesstext inkl. Zahlen, Leerzeichen und
        Sonderzeichen aus den Zeichenvorart von UTF-8, wobei die Laenge auf [1..250]
        Zeichen festgelegt ist.

```

```

6     </xs:documentation>
7   </xs:annotation>
8
9   <xs:restriction base="xs:string">
10    <xs:pattern value=".{1,250}"/>
11  </xs:restriction>
12
13 </xs:simpleType>

```

**Code 3.5:** Definition des Typs GUID, Vorgaben zur Struktur des Wert-Elements

```

1 <xs:simpleType name="TGUID">
2   <xs:annotation>
3     <xs:documentation
4       xmlns:ppi="http://www.plan-pro.org/modell/PlanProInformation">
5       Beschraenkt die Befuellung auf eine 32-stellige GUID in der Form 8-4-4-4-12
6         Zeichen unter Verwendung der Zahlen 0-9 und der Buchstaben A-F.
7     </xs:documentation>
8   </xs:annotation>
9
10  <xs:restriction base="xs:string">
11    <xs:pattern
12      value="[0-9a-fA-F]{8}-[0-9a-fA-F]{4}-[0-9a-fA-F]{4}-[0-9a-fA-F]{4}-[0-9a-fA-F]
13        ]{12}"/>
14  </xs:restriction>
15 </xs:simpleType>

```

**Code 3.6:** Definition des Typs Wirkrichtung, Einschränkung durch vorgegebene Werte in einer Enumeration

```

1 <!-- Definition Typ -->
2 <xs:simpleType name="TWirkrichtung">
3   <xs:annotation>
4     <xs:documentation
5       xmlns:ppi="http://www.plan-pro.org/modell/PlanProInformation">
6       Ein Attribut diesen Typs wird verwendet, um die Wirkrichtung eines Objekts in
7         Bezug zur Topologierichtung anzuzeigen. Ein Attribut mit diesem Basistyp nimmt
8         einen der ENUM-Werte 'beide', 'gegen' und 'in' an.
9     </xs:documentation>
10  </xs:annotation>
11
12  <xs:restriction base="nsBasisTypen:ENUMWirkrichtung"/>
13 </xs:simpleType>
14 <!-- Definition Enumeration -->
15 <xs:simpleType name="ENUMWirkrichtung">
16   <xs:restriction base="xs:string">
17     <xs:enumeration value="beide"/>
18     <xs:enumeration value="gegen"/>
19     <xs:enumeration value="in"/>
20  </xs:restriction>
21 </xs:simpleType>

```

Positiv zu erwähnen ist die exakte Dokumentation und Einbindung zahlreicher Erklärungen innerhalb aller XSD-Dateien. Diese erleichtert es dem Entwickler, trotz einer großen Menge an Elementen schnell einen Überblick über wichtige Begrifflichkeiten und Zusammenhänge zu erhalten. Zusätzlich ist ein umfangreiches Glossar verfügbar, welches alle Komponenten beschreibt und Verknüpfungen zu anderen Elementen aufzeigt.

## 3.4 Übersetzung des XSD-Schemas in eine Klassenbibliothek

Wie bereits beschrieben gibt es verschiedene Programme, die für die Beschreibung einer Datenstruktur mithilfe der Unified Modeling Language (UML) konzipiert sind. Als Ergebnis können neben graphischen Darstellungen unter anderem auch XSD-Daten ausgegeben werden. Darüber hinaus bieten einige dieser Programme die Möglichkeit, bestehende XSD-Dateien einzulesen und daraus eine Klassenstruktur zur Verwendung in einer Programmiersprache zu erstellen.

Um auf die in einer PlanPro-Projektdatei gespeicherten Informationen zugreifen zu können, wurden verschiedene Programme getestet, die XSD-Daten in .NET-basierte Klassenstrukturen umwandeln können.

### 3.4.1 Getestete XSD-Parser für PlanPro

Aufgrund der umfangreichen XSD-Definitionen, die für PlanPro mittlerweile existieren, wurden mehrere XSD-Parser-Programme getestet, um eine Klassenbibliothek inklusive Import- und Exportfunktionalitäten für PlanPro-Projektdateien zu erstellen. Die Ergebnisse werden in den nächsten Abschnitten vorgestellt.

#### Visual Studio XSD.exe

Bei der Konsolenanwendung XSD.exe handelt es sich um eine Applikation, die Teil des Integrated Development Environments (IDE) *Visual Studio* des Herstellers Microsoft ist. Mit diesem Tool können XSD-Schemata in Klassenstrukturen verschiedener Programmiersprachen wie Java oder .NET übersetzt werden.

Die Anwendung lässt sich mit der XSD-Datei *PlanPro.XSD* starten, zeigt anschließend zahlreiche Warnungen an und bricht den Übersetzungsprozess nach wenigen Schritten ab. Das Ziel einer nutzbaren Klassenbibliothek konnte hier nicht erreicht werden.

## Enterprise Architecture

Da sich die Verwendung der eben beschriebenen Konsolenanwendung als nicht zielführend herausgestellt hat, wurde anschließend das Programm *Enterprise Architect* getestet, um die vorliegenden XSD-Daten in eine .NET-basierte Klassenbibliothek umzuwandeln. Das Erstellen der \*.cs-Dateien für jedes Element konnte mit *Enterprise Architect* erfolgreich durchgeführt werden, allerdings wurden lediglich die in den XSD-Dateien benannten Klassen erzeugt, jedoch keine Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen über abstrakte Klassen oder Interfaces hergestellt. Daher konnte das Ziel einer Klassenbibliothek, die über Import- und Exportfunktionen verfügt, auch mit *Enterprise Architect* nicht erreicht werden.

Aus den beschriebenen Problemen wurde gefolgert, dass das bereitgestellte XSD-Schema möglicherweise Fehler oder Stellen beinhaltet, die von den allgemeinen Vorgaben des W3C-Standards abweichen.

## Liquid Studio

Das Softwarepaket *Liquid Studio* bietet ähnliche Funktionen wie *Enterprise Architect* und hat zusätzliche Methoden zur Validierung von XSD-Dateien.

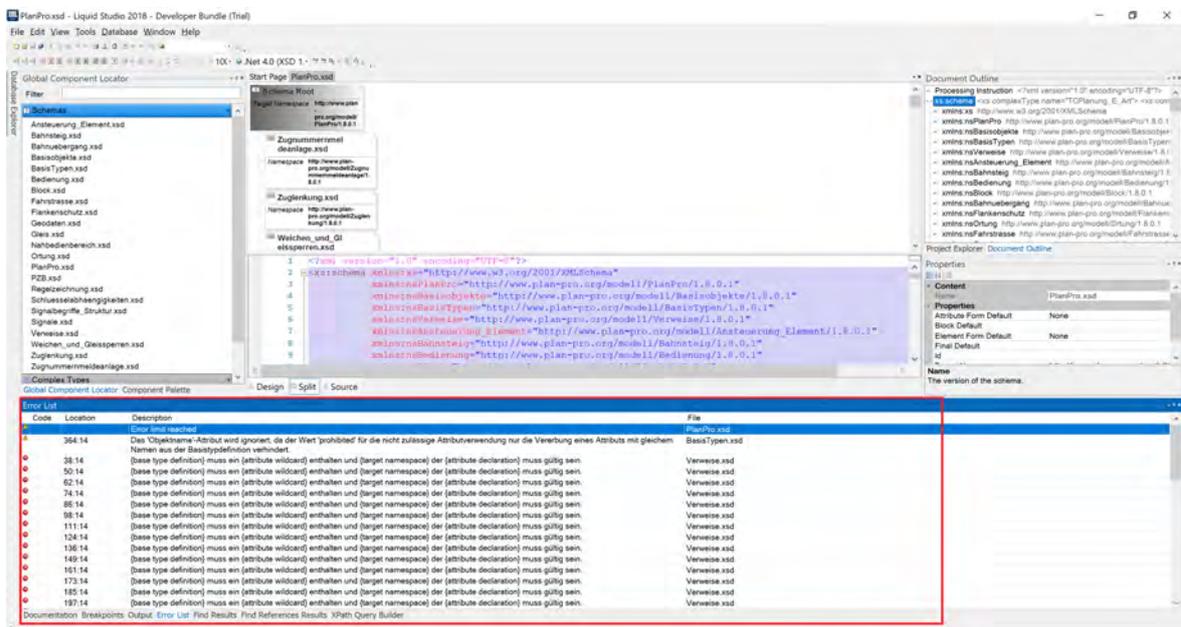


Abbildung 3.2: Programmoberfläche von Liquid Studio nach dem Einlesen der Hauptdatei PlanPro.xsd

Trotz der Warnung, dass das Limit darstellbarer Fehler erreicht sei, konnte mit Liquid Studio eine kompilierbare Klassenbibliothek aus den XSD-Daten des PlanPro-Schemas erstellt werden. Dazu wurde das Zusatzmodul *Liquid DataBinder* verwendet, welches neben der

gewünschten Klassenbibliothek auch Import- und Export-Methoden für XML-Dateien erzeugt, die auf dem entsprechenden XSD-Schema basieren. Zusätzlich kann mit Liquid Studio eine Beispielanwendung erstellt werden. Mithilfe der Sample-App ist es möglich, per Debugging die einzelnen Import-Schritte einer XML-Datei nachzuvollziehen, welche dem geparsten XSD-Schema folgt.

Da die Schemadateien *Signalbegriffe Ril 301.XSD* sowie *Signalbegriffe Struktur.XSD* unabhängig vom eigentlichen PlanPro-Schema existieren (siehe 3.3.3), waren diverse Nachbearbeitungsschritte im automatisch erstellten Code notwendig, um diese extern ausgelieferten Klassen ebenfalls erfolgreich einlesen zu können. Hierfür wurde eine zusätzliche Funktion implementiert, die auf Grundlage des empfangenen Signalbegriffs aus dem XML-Dokument die richtige Klasseninstanz des zugehörigen Signals erzeugt. Diese Zuordnungs-Methode kann in Zukunft schnell erweitert werden, falls neue XSD-Dateien für Signalbegriffe zur Verfügung gestellt werden sollten.

Außerdem werden die eingelesenen Daten nach dem Import in einer Baumstruktur dargestellt, was das Verständnis für die Speicherstruktur fördert. Ein Beispiel zeigt Abbildung 3.3.

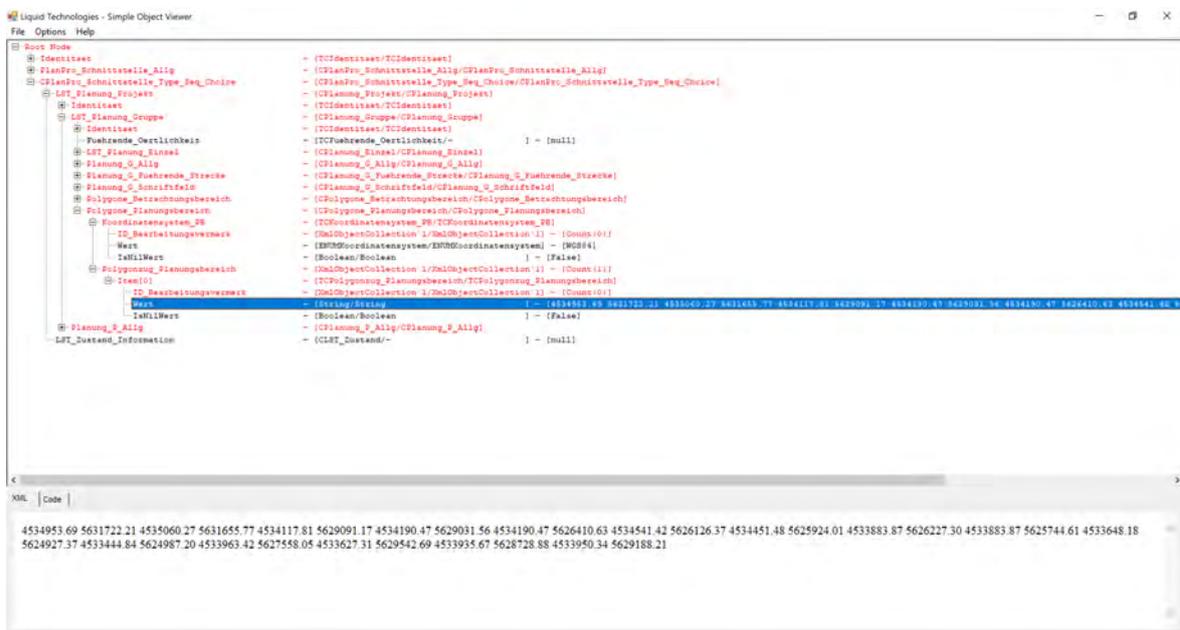


Abbildung 3.3: Darstellung der importierten Daten in einer Baumstruktur

Um die erstellte PlanPro-Bibliothek außerhalb der Beispielapplikation nutzen zu können, muss zusätzlich die Bibliothek *LiquidTechnologies.Runtime.Net45.dll* in das entsprechende Projekt eingebunden werden, die Methoden zur Serialisierung und Erstellung der Klasseninstanzen beinhaltet. Beide Bibliotheken sind nicht an die Lizenzierung von Liquid Studio gekoppelt und können nach einmaligem Erstellungsprozess beliebig oft verwendet werden.

## 3.5 Zusammenfassung

Aufgrund der umfangreichen Ansammlung an Definitionsdateien ist der erste Kontakt mit dem PlanPro-Datenschema auf den ersten Blick unübersichtlich, kann aber unter Zuhilfenahme passender Programme in eine .NET-basierte Klassenbibliothek übersetzt werden.

Auf den Umgang mit konkreten Elementen wird genauer in Kapitel [4](#) eingegangen, gleichzeitig wird der Prozess der BIM-Modellerstellung erläutert.

## Kapitel 4

# Erstellung eines BIM-Modells auf Grundlage der PlanPro-Daten

### 4.1 Zielsetzung

Dieses Kapitel stellt einen Ansatz vor, wie auf Grundlage der in PlanPro gespeicherten Daten ein BIM-Modell erstellt werden kann. Dabei wird analysiert, welcher Grad an geometrischer und semantischer Detaillierung im Modell erreicht werden kann, wenn keine zusätzlichen Informationen aus anderen Gewerken für die Modellerstellung herangezogen werden. In einem weiteren Schritt wird erörtert, mit welchen Informationen aus anderen Datenquellen und Gewerken eine höhere Modelldetaillierung erlangt werden könnte.

Wie bereits erläutert wurde PlanPro entwickelt, um die Planung von elektronischen und digitalen Stellwerken und den zugehörigen Bauteilen mithilfe eines standardisierten Datenaustauschformates zu vereinheitlichen. Außerdem wurden für PlanPro-Dateien Ansätze konzipiert, wie erzeugte Planungsdaten auf Plausibilität und fachliche Richtigkeit überprüft werden können. Diese Regeltests sind allerdings weitgehend auf das Fachgebiet der LST-Technik beschränkt und prüfen, ob ein Wert innerhalb eines definierten Wertebereiches liegt oder überhaupt vorhanden ist. In zahlreichen Bauprojekten entstehen Probleme allerdings vor allem im Zusammenspiel verschiedener Gewerke - auch wenn die Daten innerhalb eines Fachgebietes geprüft und als richtig bewertet wurden. Werden geometrische Kollisionen oder andere Konflikte erst auf der Baustelle erkannt, so führt dies in den allermeisten Fällen zu verlängerten Bauzeiten und einer deutlichen Kostensteigerung. Neben dem Ziel, die LST-Planung als BIM-Fachmodell zur Verwendung in einem koordinierten und gewerkeübergreifenden Gesamt-Modell zu integrieren, existieren innerhalb des LST-Gewerks Regeln, die mit in Schematron formulierten Regelprüfungen nur sehr schwer bewertet werden können.

Diese zwei Gründe erfordern es, die fachlichen Daten aus einer PlanPro-Datei für einige Anwendungsfälle in ein dreidimensionales Modell zu übersetzen, welches gleichzeitig gewerkspezifische Informationen speichern kann.

## 4.2 Beispielprojektdaten Bahnhof PHausen

Um Entwicklern ein Beispiel-Szenario an die Hand zu geben, stellt die DB Netz AG neben dem XSD-Schema auch eine Beispieldatei bereit, die die Planung der Leit- und Sicherungstechnik für den fiktiven Bahnhof PHausen enthält und alle planerisch relevanten Informationen beinhaltet. Neben der PlanPro-Projektdatei werden Lagepläne und diverse Bauteiltabellen als \*.PDF-Dateien ausgegeben, die im Planungsprozess der Leit- und Sicherungstechnik typischerweise erstellt werden.

**Hinweis: Alle Ausführungen in dieser Arbeit beziehen sich auf die PlanPro-Version 1.8.0. Eine neue Version ist nach mündlicher Aussage der Verantwortlichen in naher Zukunft zu erwarten.**

## 4.3 Entwickelte Softwareumgebung

Die Abbildung 4.1 zeigt die Applikationsstruktur, die zur Übersetzung der PlanPro-Daten in ein BIM-Modell implementiert wurde.

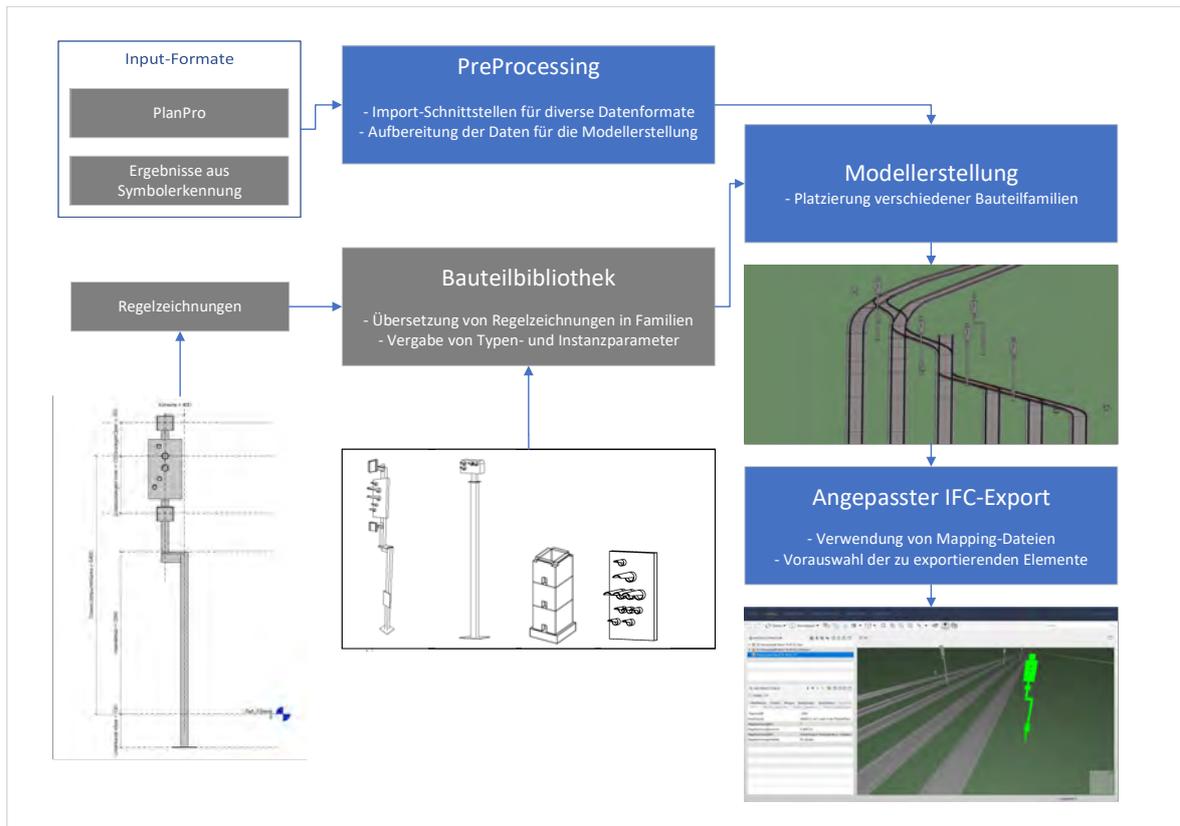


Abbildung 4.1: Entwickelte Softwareumgebung

Die Applikationsstruktur gliedert sich in zwei wesentliche Teile auf: in ein PreProcessing-Tool und die eigentliche Modellerstellung in einem BIM-Autorenwerkzeug. Diese Trennung bringt mehrere Vorteile mit sich:

- Das Preprocessing Tool kann bei Bedarf mit weiteren Datenformaten befüllt werden, sodass Informationen verschiedener Gewerke verknüpft werden können.
- Das verwendete BIM-Autorenwerkzeug ist unabhängig von der Datenaufbereitung. Somit ist es möglich, die aufbereiteten Daten auch in anderen Applikationen zu verwenden.

Zur Modellerstellung wird auf Autodesk Revit zurückgegriffen. Diese Applikation bietet eine .NET-basierte Entwicklerschnittstelle, die die Möglichkeit besitzt, eigene Funktionserweiterungen zu erstellen und aus der Benutzeroberfläche heraus aufzurufen.

#### 4.3.1 Angestrebte Funktionen

Ein zentrales Ziel ist die Erstellung eines BIM-Modells, welches sich fachlich als Beitrag des LST-Gewerks in einem koordinierten Gesamtmodell eignet. Darüber hinaus soll das Modell

zur Überprüfung der Einhaltung diverser Regeln und Richtlinien verwendet werden, die sich nur mit großem Aufwand mit textbasierten Methoden prüfen lassen.

Mithilfe des Preprocessing Tools sollen folgende Aufgaben ausgeführt werden:

- Einlesen des PlanPro-Formates und Visualisierung der Gleisachsen
- Datenaufbereitung und Zusammenführen verschiedener Einzelinformationen in ein internes Datenmodell
- Berechnung der kartesischen Koordinaten für punktförmige Objekte
- Tabellarische Darstellung von semantischen Eigenschaften
- Export der aufbereiteten Daten in eine Datenbank, die die Grundlage für die Modellherstellung in einem BIM-Editor darstellt

Das Plugin für Revit greift auf vom PreProcessing-Tool die aufbereiteten Daten zu und ermöglicht so das Platzieren verschiedener Objekte sowie das Anhängen von semantischen Informationen. Dabei werden konkret folgende Funktionen betrachtet:

- Darstellung von Betrachtungs- und Planungsbereich
- Darstellung der Gleisachsen als Modelllinien
- Modellierung des Gleisoberbaus sowie eines Lichtraumprofils
- Platzierung von Signalobjekten, deren Gestalt aufgrund des Verweises auf eine Zeichnung festgelegt wird
- Anhängen von zusätzlichen Attributen an die geometrischen Körper
- Angepasster Modell-Export in eine IFC-Datei zur Gruppierung der benutzerdefinierten Parameter

Zum Austausch der Daten zwischen PreProcessing und BIM-Editor wird eine eigene Klassenstruktur verwendet, die den Informationstransfer zwischen BIM-Editor und PreProcessing Tool in beiden Richtungen übernehmen kann.

## 4.4 Geplante Eingangsdaten

Vorerst dienen zur Erstellung der Anwendungen ausschließlich die in PlanPro gespeicherten Daten, welche im Fokus dieser Arbeit stehen. Des Weiteren besteht jedoch das Ziel, die Klassen und Methoden so zu gestalten, dass große Teile des erstellten Codes auch an anderer

Stelle modular eingesetzt werden können und die Erweiterung um weitere Input-Formate möglich ist.

Es existieren bereits verschiedene Techniken und Programme, die einzelne Fachmodelle beispielsweise über das IFC-Datenformat zusammenführen und ein Gesamtmodell für verschiedene Anwendungsfälle generieren, die nur im Kontext des Gesamtprojektes bearbeitet werden können. Auf dieses Konzept wird in Kapitel 5 genauer eingegangen und ein möglicher Lösungsansatz beschrieben.

Als weitere möglichen Datenquellen sind Ergebnisse von Methoden angedacht, die die Erfassung der bestehenden Ausrüstungsgegenstände in der realen Umgebung zum Ziel haben. Hierfür werden im Rahmen des RIMcomb-Projektes mehrere Ansätze verfolgt: Eine Methode ist die Aufbereitung von Videodaten aus Befahrungen, aus denen abgeleitet werden kann, an welcher Stelle sich welcher Ausrüstungsgegenstand befindet. Außerdem wird an der Erkennung von Symbolen auf Bestandsplänen gearbeitet, um bestehende Planunterlagen zu digitalisieren beziehungsweise den Digitalisierungsprozess zu unterstützen. Diese zwei Datenquellen können in Zukunft ebenfalls eine mögliche Grundlage für eine teilautomatisierte Erstellung eines BIM-Modells sein, wenngleich die fachliche Informationsdichte nicht so hoch sein wird, wie sie in einer Datenstruktur wie PlanPro zu finden ist. Dennoch kann angenommen werden, dass auch die Erstellung grobskaliger Modelle, die den Bestand beschreiben, als Planungsgrundlage durchaus positiv zu bewerten sind.

## 4.5 Datentransfer zwischen PreProcessing und Modellierungsumgebung

Für den Datentransfer zwischen der PreProcessing-Anwendung und dem BIM-Autorentool wird eine SQLite-Datenbank verwendet, die über den ORM-Mapper Entity Framework (EF) angesprochen wird.

Die Verwendung des dateibasierten Datenbanksystems SQLite ermöglicht es, die erstellten Daten auf praktisch jeder Plattform zu verwenden. Gleichzeitig ist es möglich, mit frei erhältlichen Datenbank-Viewern die in der Datenbank enthaltenen Tabellen und Informationen zu überprüfen und zu filtern.

Für jede Bauteil-Art werden eigene Tabellen erzeugt, die spezifische Attribute sowie die Objektkoordinaten enthalten. Um später den Zusammenhang zwischen den Elementen in der PlanPro-Datei und einem Objekt im BIM-Modell herzustellen zu können, wird neben einem Integer-Primärschlüssel auch die Identität des PlanPro-Elements übertragen. Die Definition des Primärschlüssels in den Datenbanktabellen könnte auch direkt über die GUIDs der PlanPro-Elemente realisiert werden, schränkt aber eine spätere Erweiterung des Tools auf

Daten ein, die nicht aus einer PlanPro-Datei generiert werden und dementsprechend keine eigene Kennung besitzen.

## 4.6 Modellierung von Komponenten

In den folgenden Kapiteln wird erläutert, welche Elemente aus dem PlanPro-Schema exemplarisch in eine BIM-Umgebung übersetzt wurden. Es wird an manchen Stellen detailliert auf Schwierigkeiten im Umgang mit den in PlanPro gespeicherten Informationen eingegangen, damit diese kritische Herangehensweise als Grundlage für die zukünftige Weiterentwicklung verwendet werden kann.

### 4.6.1 Vorbemerkungen

Die hier aufgeführten Herangehensweisen zur Modellerstellung spiegeln an vielen Stellen Erfahrungen wider, die an die Funktionalitäten von hochbautypischen BIM-Editoren angelehnt sind. Daher wird versucht, bestehende Möglichkeiten in diesen Programmen so zu adaptieren, dass sie auch für die Erstellung eines LST-Fachmodells verwendet werden können. Eine allumfassende fachliche Richtigkeit kann trotz eines intensiven Austausches mit Experten nicht gewährleistet werden, vielmehr geht es in dieser Arbeit um das Aufzeigen eines möglichen Workflows, wie in Zukunft gewerkespezifische Daten der Eisenbahnplanung für ein Gesamt-Koordinationsmodell aufbereitet werden können.

Alle Ausführungen beziehen sich auf das PlanPro-Schema in der Version 1.8.0 sowie dem zugehörigen Beispielprojekt PHausen, ebenfalls in der Version 1.8.0. Gezeigte Code-Auszüge stammen aus der Beispieldatei PHausen und werden zumeist in verkürzter Form dargestellt, um die für das jeweilige Beispiel wesentlichen Aspekte hervorzuheben. Ausführliche Erklärungen zu den einzelnen Komponenten des PlanPro-Datenmodells finden im Glossar. Die nun folgenden Ausführungen in Bezug auf PlanPro beziehen sich vor allem auf die Zusammenhänge verschiedener Klassen, die zur anschließenden Modellerstellung relevant sind.

### Oberfläche des PreProcessing-Tools

Um die Ergebnisse der PreProcessing-Algorithmen zu visualisieren, wurde neben Berechnungsmethoden zur Datenaufbereitung auch eine Benutzeroberfläche erstellt, die die Gleisachsen sowie die berechneten Koordinaten der Signalanlagen darstellt (siehe Abbildung 4.2). Außerdem werden diverse semantische Daten in tabellarischen Ansichten bereitgestellt. Eine Bearbeitung der in einer PlanPro-Datei gespeicherten Daten soll nicht Gegenstand dieses Programmes sein, für spätere andere Datenquellen kann eine Eingabe in die Tabellen dennoch durchaus eine mögliche Erweiterung darstellen.

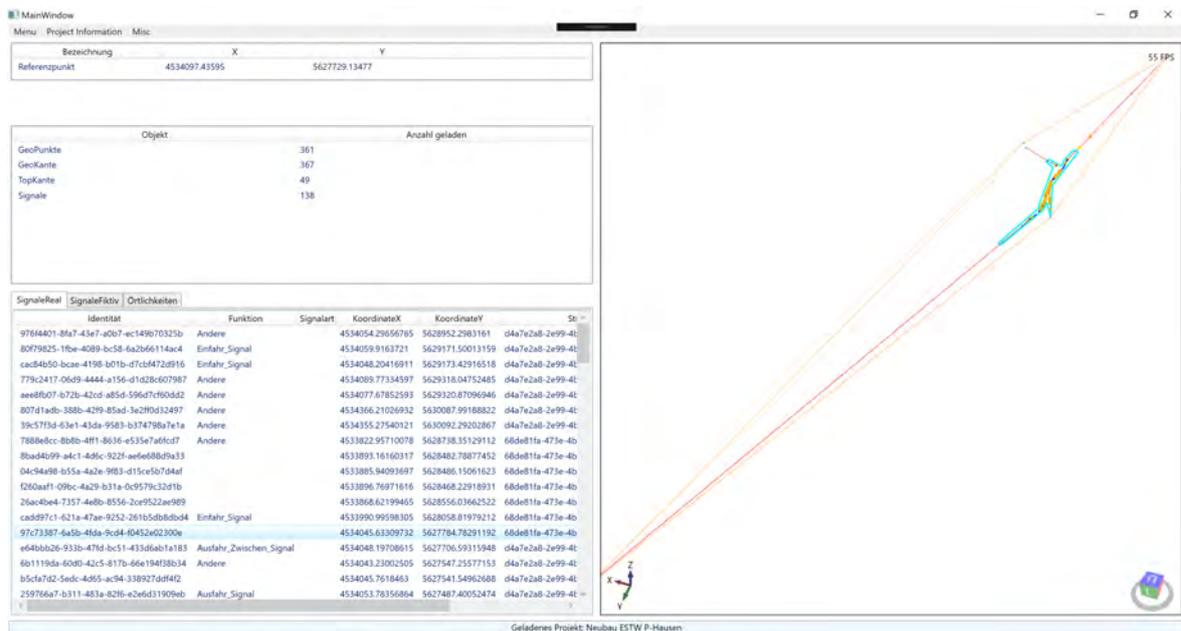


Abbildung 4.2: Oberfläche des PreProcessing-Tools

Um die Geometriekörper der Ausrüstungsgegenstände später ohne weitere Bearbeitung der Koordinatenwerte platzieren zu können, werden alle Koordinaten, die in einem globalen Koordinatensystem in PlanPro vorliegen, auf lokale Projektkoordinaten umgerechnet. Neben der Rücktransformation über den Referenzpunkt werden den platzierten Revit-Elementen zusätzlich die Attribute *RealPosition X* sowie *RealPosition Y* angehängt, um die erzeugten Modelldaten mit den bisherigen Darstellungen im sicherungstechnischen Lageplan und den Tabellen abgleichen zu können.

## Modellierung von Bauphasen

Für alle Elemente wird im Folgenden beschrieben, an welcher Stelle der XML-Datei die erforderlichen Informationen extrahiert wurden. Allgemein gliedert sich eine PlanPro-Datei in die drei Bereiche auf, welche wiederum Unterelemente enthalten. Diese geben Auskunft darüber, ob die zugehörigen Unter-Elemente von einer Bauphase des Projektes abhängen oder für die gesamte Projektzeit festgelegt sind. Abbildung 4.3 gibt einen Überblick über die obersten Elemente der PlanPro-Klassenstruktur, die auch im Screenshot der Beispielanwendung zu erkennen ist (siehe Abbildung 3.3).

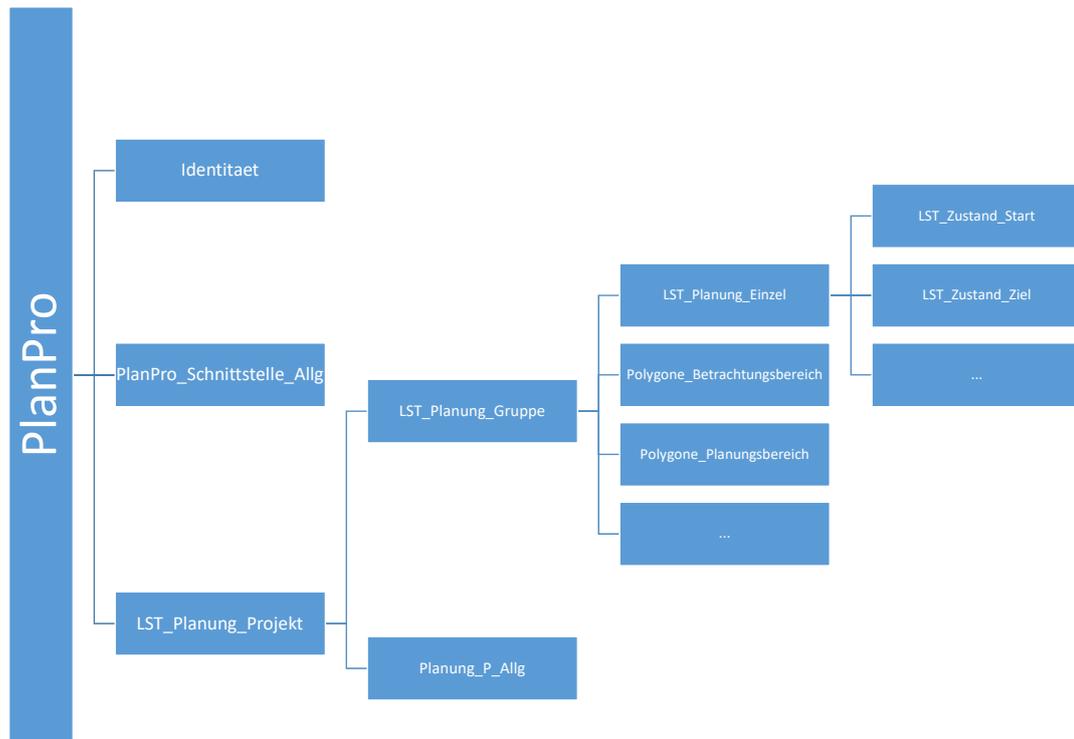


Abbildung 4.3: Wurzelemente der PlanPro-Struktur

Jedes Element verfügt über einen Globally Unique Identifier (**GUID**), der zur Verbesserung der Übersichtlichkeit aber nicht immer explizit angegeben wird.

### Verwendung von Regelzeichnungen

Für viele Bauteile der Leit- und Sicherungstechnik existieren Regelzeichnungen, die Auskunft über die Abmessungen der Bauteile geben. Eine Regelzeichnung (**RZ**) verfügt über eine RZ-Nummer sowie einen Titel und gliedert sich in mehrere Bilder auf, die unterschiedliche Variationen des Bauteils darstellen. Diese Struktur eignet sich gut, um sie mithilfe von Revit-Familien abzubilden. Jede Regelzeichnung an sich wird als eigene Familie erstellt, die einzelnen Bilder als Familientypen. Bilder einer Regelzeichnung, die beispielsweise die Ausprägung von Signalen beschreiben, unterscheiden sich in den meisten Fällen lediglich in den konkreten Geometrieparametern, was dem Konzept von Bauteilfamilien entgegenkommt.

Außerdem stellt Revit zwei Arten von Parametern zur Verfügung. Typenparameter beschreiben Eigenschaften einer Familie, die für alle Instanzen dieser Familie/dieses Familientyps gleich sind. Ändert man den Wert innerhalb des Familieneditors und lädt die angepasste Familie anschließend in eine Projektdatei, werden alle bereits platzierten Familieninstanzen

zen entsprechend angepasst. Darüber hinaus gibt es Exemplarparameter, die innerhalb des Projektes für jedes platzierte Objekt separat mit Werten befüllt werden können. Um sicherzustellen, dass ein Exemplarparameter auch ohne explizite Befüllung einen Wert annimmt, können Vorgabewerte innerhalb des Familieneditors angegeben werden. Abbildung 4.4 stellt diesen Sachverhalt dar.

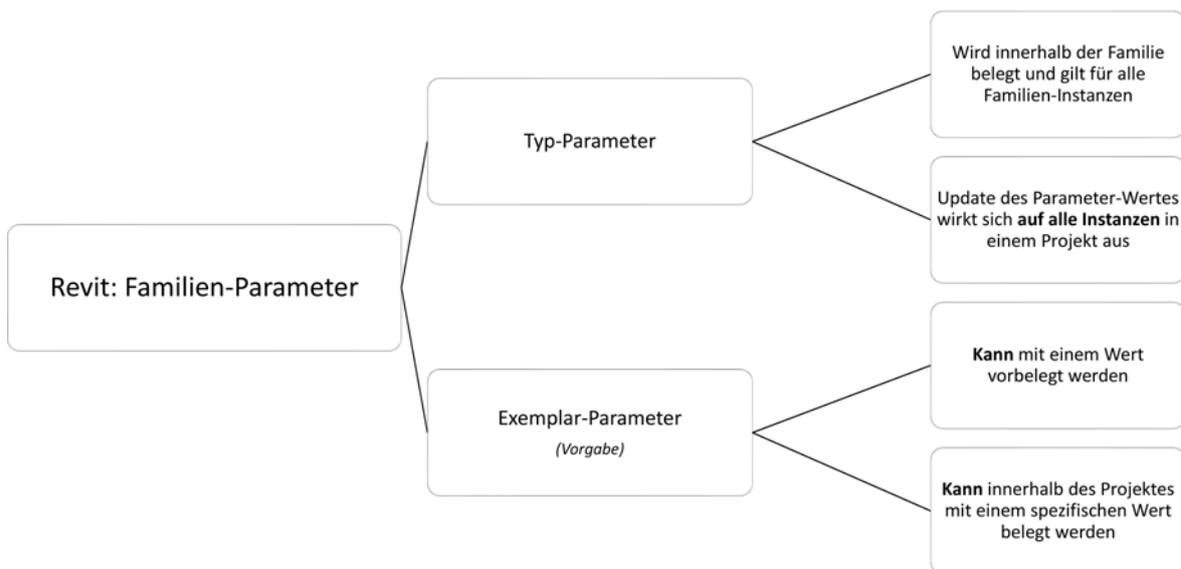


Abbildung 4.4: Parametertypen in Autodesk Revit

#### 4.6.2 Vorbereitung des Revit-Projektes

In vielen Fällen wird in den PlanPro-Daten auf die zu verwendende Regelzeichnung verwiesen. Diese setzen sich zumeist aus mehreren Bildern zusammen, die sich über diverse Attribute wie Abmessungen und Höhen definieren. Diese hierarchische Struktur lässt sich in Revit gut über einzelne Familien und Familientypen abbilden. Dabei wird für jede Regelzeichnung eine eigene Revit-Familie erzeugt, die Familientypen innerhalb dieser Familie entsprechen wiederum den einzelnen Bildern in der Richtzeichnung. Die konkrete Umsetzung und auftretende Schwierigkeiten werden in den folgenden Kapiteln jeweils am konkreten Beispiel erläutert.

Um Parameter zu erfassen, die für mehrere Bauteile relevant sind, werden so genannte *Shared Parameter*-Dateien eingeführt, die es ermöglichen, an einer zentralen Stelle Parameter zu definieren und diese anschließend in Revit-Projekte oder Familien zu importieren. Zur eindeutigen Verknüpfung der Daten werden allen platzierten Bauteilen in Revit die Id aus der PlanPro-Datei beigelegt. Weitere Attribute, die beispielsweise für alle Elemente der PlanPro-Klasse *Punkt Objekt* sinnvoll erscheinen, werden zu einem späteren Zeitpunkt erläutert.

Abbildung 4.5 zeigt das Erstellen eines Familien-Parameters auf Grundlage einer Shared-Parameter-Datei.

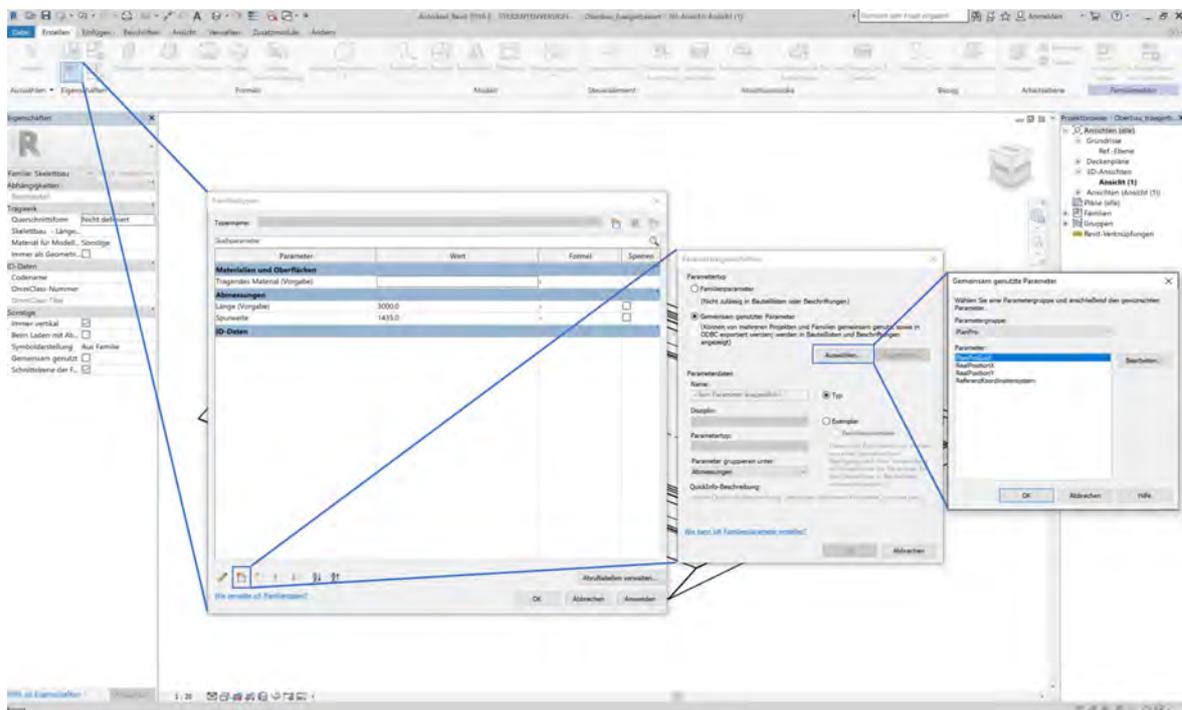


Abbildung 4.5: Einbinden eines SharedParameters in eine Familien-Attributierung

Um auf die Revit-Funktionen zugreifen zu können, die für die Modellerstellung auf Grundlage der PlanPro-Daten implementiert wurden, kann das Plugin *AddIn-Manager* oder die statische Einbindung des Plugins in die Revit-Oberfläche verwendet werden. Hierfür bedarf es der Registrierung des Plugins durch eine \*.addin-Datei, die in den Systemordnern der Revit-Installation hinterlegt wird.

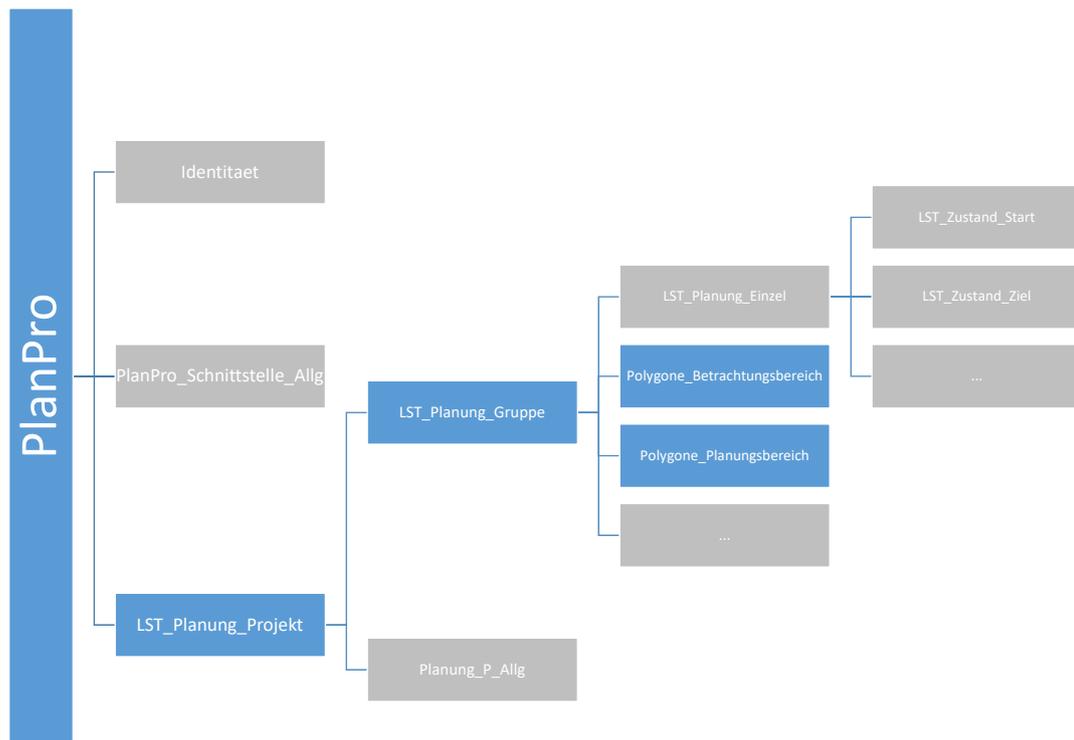
Alle relevanten Familien, die für die Modellerstellung benötigt werden und spezielle Bauteile der LST-Planung beinhalten, können über die Funktion 'Prepare Model' in das Revit-Modell geladen werden. Dafür sind alle Familiendateien in einem gemeinsamen Ordner abzulegen, der über ein Dialogfenster ausgewählt werden muss.

### 4.6.3 Betrachtungsbereich und Planungsbereich

Zur Definition des zu beplanenden Gebietes wird in der Leit- und Sicherungstechnik in zwei Bereiche unterschieden: Der Planungsbereich beschreibt das geografische Umfeld, das für die Planungsaufgabe zu untersuchen ist. Da es aber auch Bauteile gibt, die benachbarten Stellwerken zugeordnet sind und Einfluss auf die Planung im Planungsbereich haben können, wird zusätzlich ein so genannter Betrachtungsbereich definiert. Der Planungsbereich ist ein Teilbereich des Betrachtungsbereiches. Die Definition dieser Bereiche ist komplex und bedarf großer Erfahrung (Buder, 2017). Eine fachliche Bewertung, wie diese Polygone definiert

werden, wird daher nicht vorgenommen, sondern vorrangig als Grundlage verwendet, um die topographischen Ausdehnungen des vorliegenden Projektes abstecken zu können.

Sowohl Planungs- als auch Betrachtungsbereich werden unabhängig von den Bauzuständen *LST Zustand Start* und *LST Zustand Ziel* im PlanPro-Schema abgebildet. Deren Position in der XML-Struktur ist in Abbildung 4.6 ersichtlich.



**Abbildung 4.6:** Position der Polygone für Betrachtungs- und Planungsbereich im PlanPro-Schema

Innerhalb des Polygon-Elementes werden das Referenzkoordinatensystem (im Beispielprojekt WGS84) sowie die Koordinaten angegeben. Letztere sind als Aneinanderreihung von Dezimalzahlen gegeben und lediglich durch ein Leerzeichen getrennt. Die in Kapitel 3 erwähnte konsequente Modellierung mit Kind-Elementen wird hier nicht angewendet.

**Code 4.1:** Betrachtungsbereich: Koordinaten als einfache Abfolge von Dezimalzahlen

```

1 <Polygone_Betrachtungsbereich>
2   <Koordinatensystem_BB>
3     <Wert>WGS84</Wert>
4   </Koordinatensystem_BB>
5   <Polygonzug_Betrachtungsbereich>
6     <Wert>4541324.55 5647860.25 4533627.31 5629542.69 [...] </Wert>
7   </Polygonzug_Betrachtungsbereich>
8 </Polygone_Betrachtungsbereich>

```

Die gegebenen Dezimalzahlen werden im PreProcessing-Tool in den Datentyp *Point3D* übersetzt, wobei die z-Ordinate mit dem Wert 0 belegt wird. Die Verwendung von dreidimensionalen Datentypen mag erst einmal umständlich erscheinen, da alle Koordinatendaten aus PlanPro lediglich in der zweidimensionalen Fläche vorliegen, erleichtert später aber die Darstellung und den Umgang bei der Visualisierung im dreidimensionalen Raum. Außerdem wird die Programmstruktur bereits von Anfang an auf den Umgang mit möglichen späteren dreidimensionalen Geländedaten ausgelegt.

Im Revit-Projekt wird für die Anordnung der Polygone die Topologie-Funktion verwendet. Dafür müssen mindestens drei Punkte vom Datentyp *XYZ* übergeben werden, der ein Revit-spezifisches Datenformat darstellt.

Die Modellierung des Planungsbereiches erfolgt als Unterregion des Betrachtungspolygons und wird mit der API-Klasse *SiteSubRegion* eingefügt. Dies ist im Falle des Beispielprojektes PHausen zielführend, da die räumlichen Ausdehnungen von Betrachtungs- und Planungsbereich noch eine sinnvolle Bedienung des Modells ermöglichen. Falls PlanPro-Daten, die größere räumliche Ausdehnungen beinhalten, importiert werden sollten, kann es zielführend sein, die Funktionalitäten um den Planungs- und Betrachtungsbereich zu erweitern. Denkbar ist dabei ein Ansatz, bei dem nur Komponenten in das Modell eingefügt werden, die sich innerhalb des Planungsbereiches befinden. Dabei müssten auch Fragestellungen betrachtet werden, wie die Zusammenführung zweier Planungsbereiche, die in getrennten BIM-Modellen abgebildet werden, erfolgen könnte. Als erster Ansatz wird daher mithilfe eines Dialogfensters beim Ausführen des Befehls abgefragt, ob beide Polygone oder lediglich der Betrachtungs- oder der Planungsbereich als Topologie importiert werden sollen.

Nach dem Import der Polygone in das Revit-Projekt ist der in Abbildung 4.7 dargestellte Stand zu erwarten:

Ausgewählt ist in diesem Falle der Planungsbereich, der richtigerweise als Teilbereich des Betrachtungsbereiches dargestellt wird. Um die Übersichtlichkeit im Modell zu erhöhen, wird der z-Wert jedes Polygonpunktes bei der Platzierung im Revit-Projekt auf  $z = -0.20$  m gesetzt. Diese Annahme ist frei gewählt und dient der späteren Übersichtlichkeit, da sich einige andere Bauteile an der Schienenoberkante (SOK) orientieren.

Im Projektbrowser auf der rechten Seite von Abbildung 4.7 sind außerdem die geladenen Familien zu erkennen, die zu einem späteren Zeitpunkt benötigt werden.

#### 4.6.4 Gleisnetz als Knoten-Kanten-System

Die Trassierung von Eisenbahnstrecken stellt eine eigene fachplanerische Aufgabe dar und sollte als eigenes Teilmodell in einer BIM-gestützten Planung umgesetzt werden. Da aber zahlreiche Planungstätigkeiten von der angestrebten Trassierung abhängen, werden nahezu

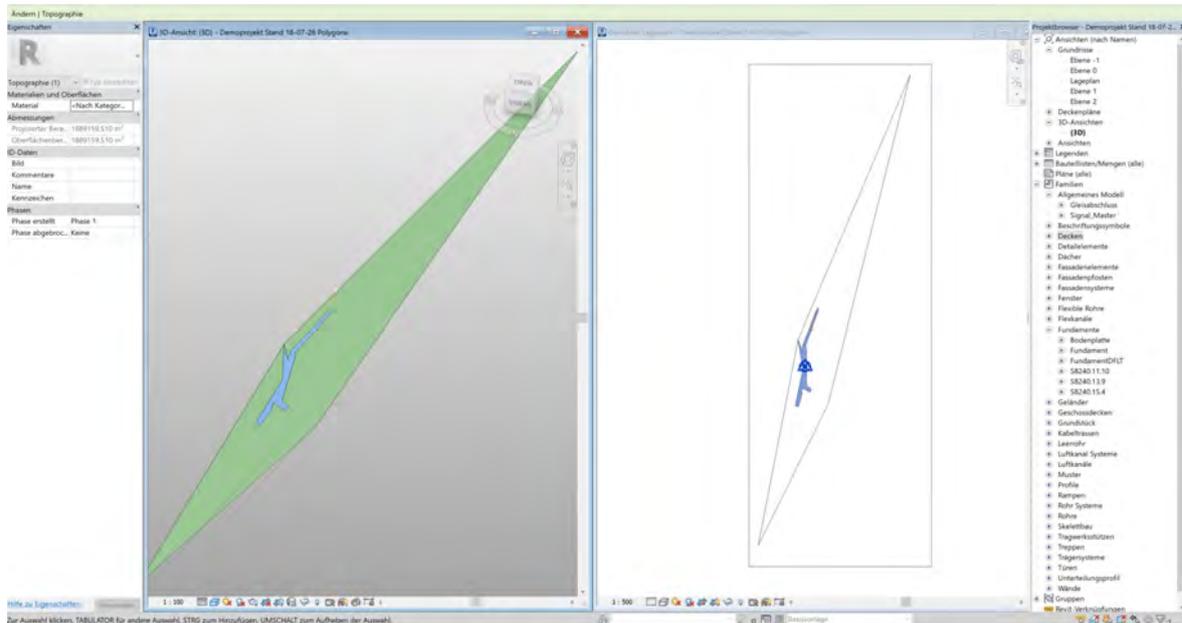


Abbildung 4.7: Importierte Polygone in dreidimensionaler Ansicht sowie im Lageplan

alle Ausrüstungsgegenstände in Bezug auf die Gleisachse geplant und in ihrer Position auf diese im PlanPro-Datenschema referenziert.

### Datenaufbereitung

Das Gleisnetz wird in PlanPro über ein Knoten-Kanten-Modell abgebildet, welches aus verschiedenen Elementen besteht. Diese Elemente sind vom Bauzustand abhängig und folglich in der Baumstruktur in den Elementen *LSTZustand Start* und *LSTZustand Ziel* zu finden (Abbildung 4.8).

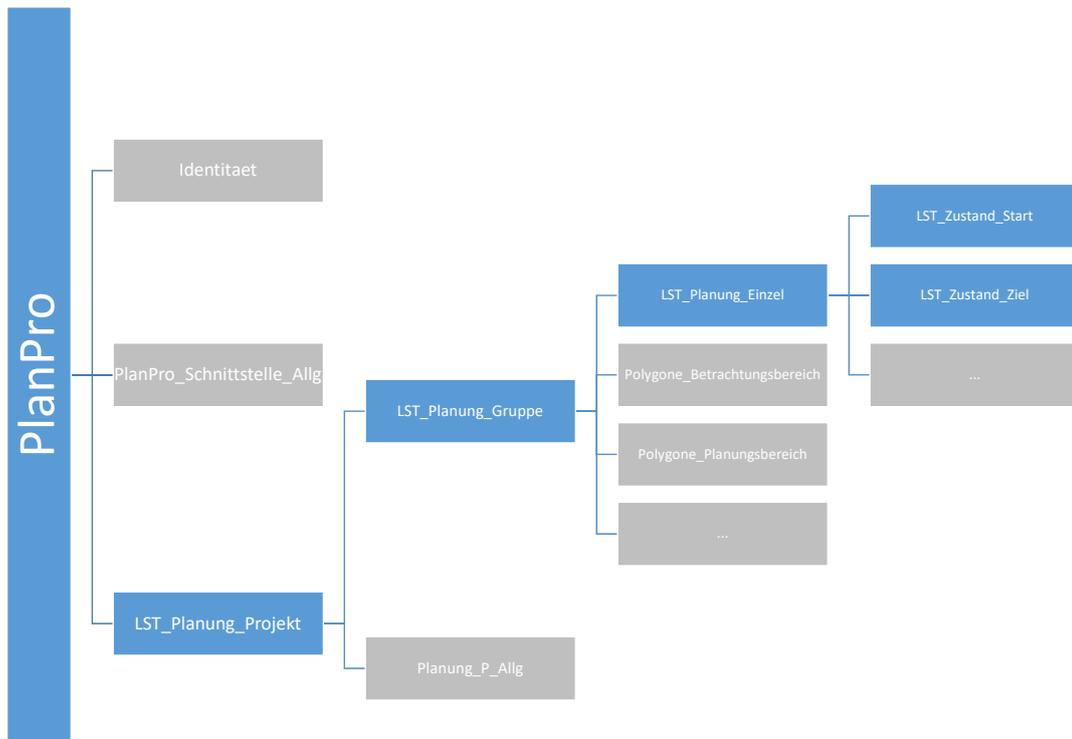


Abbildung 4.8: Knoten-Kanten-Modell in der PlanPro-Hierarchie

Die Beziehungen zwischen diesen Klassen und einige Attribute sind in Abbildung 4.9 dargestellt:

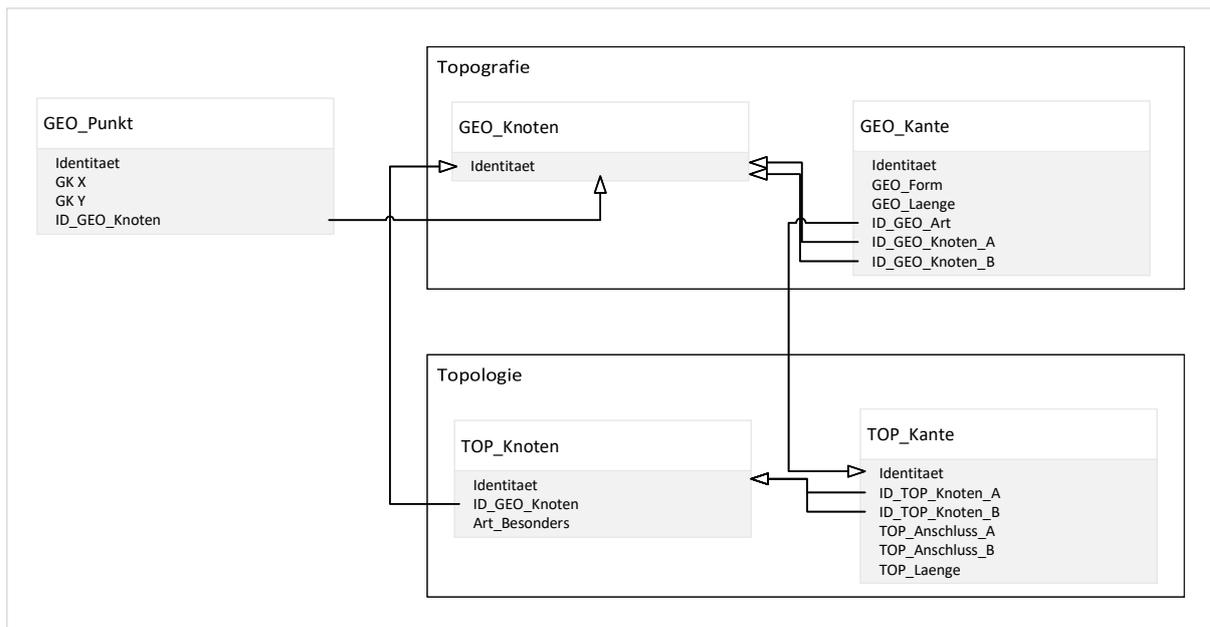


Abbildung 4.9: UML-Diagramm zur Beschreibung der Gleisachsen

Ein wichtiger Aspekt ist die Unterscheidung in Elemente der **Topologie** und der **Topografie** zur Beschreibung der Gleislage. Alle Elemente mit der Kennung TOP\_ sind der Topologie zuzuordnen. Elemente der Topografie hingegen repräsentieren die exakte geometrische Abbildung der Gleisachse. Zu dieser Gruppe gehören alle Elemente mit der Kennung GEO\_. Die Referenzierung auf das globale Koordinatensystem erfolgt über die Klasse GEO.Punkt, welche die Ordinatenwerte für x- und y-Koordinate beinhalten.

**Code 4.2:** XML-Struktur eines GeoPunktes in einer PlanProDatei

```

1 <GEO_Punkt>
2   <Identitaet >
3     <Wert>... </Wert>
4   </Identitaet >
5   <Basis_Objekt_Allg >
6     <Datum_Regelwerk >
7       <Wert>2012-02-24</Wert>
8     </Datum_Regelwerk >
9   </Basis_Objekt_Allg >
10
11  <Objektreferenzen/>
12
13  <GEO_Punkt_Allg >
14    <GK_X >
15      <Wert >4534097.43595 </Wert >
16    </GK_X >
17    <GK_Y >
18      <Wert >5627729.13477 </Wert >
19    </GK_Y >
20    <Plan_Quelle >
21      <Wert>Iv1 </Wert>
22    </Plan_Quelle >
23    <GEO_KoordinatenSystem_LSys >
24      <Wert>EA0 </Wert>
25    </GEO_KoordinatenSystem_LSys >
26  </GEO_Punkt_Allg >
27
28 </GEO_Punkt >

```

Über das Element GEO\_KoordinatenSystem\_LSys wird wie bereits bei den Polygonen für Betrachtungs- und Planungsbereich eine Verknüpfung zu globalen Georeferenzsystemen bereitgestellt. Im oben dargestellten Beispiel bedeutet der Ausdruck EA0 gemäß PlanPro-Glossar folgendes:

- **E**: Meridianstreifen 12 Grad östliche Länge
- **A**: System RD/83: Bessel-Ellipsoid, Datumspunkt Rauenberg
- **0**: DB-GIS Bezugssystem

Um die angegebenen Koordinaten in den Modellierungswerkzeugen sinnvoll verarbeiten zu können, werden alle Koordinatenwerte in lokale Projektkoordinaten transformiert. Als Re-

ferenzpunkt wird dafür der erste *GeoPunkt* verwendet, der im PlanPro-Schema gespeichert ist.

Ausgehend von den *GeoPunkt*-Elementen können *GeoKanten* gebildet werden, die über einen Anfangs- und einen Endpunkt verfügen und dadurch eine Orientierung aufweisen. Eine ihrer zentralen Eigenschaften ist die Form, die unter anderem eine *Gerade*, ein *Kreisbogen* oder eine andere Art sein kann und deren Wertebereich durch die Enumeration `ENUMGEO_Form` im XSD-Schema eingeschränkt ist. Die Verknüpfung zwischen *GeoPunkten* und *GeoKanten* erfolgt über die Zwischenklasse *GeoKnoten*, die als Verweismöglichkeit auf Punktadressen aus dem Georeferenzsystem *DBGis* verwendet werden kann (`PAD = PunktAdresse`). Neben diesen Eigenschaften ist der Parameter *GeoRichtungswinkel* vorgesehen, der allerdings in der Beispieldatei nicht befüllt wurde.

Mithilfe des Parameters `ID_GEO_Art` wird außerdem auf die übergeordnete *TopKante* verwiesen, die sich aus mehreren *GeoKanten* zusammensetzt. Außerdem kann mit `ID_GEO_Art` auch auf eine Strecke verwiesen werden, um die Kilometrierung abzubilden.

Jede *TopKante* verfügt ebenfalls über einen Anfangs- und Endknoten, für die über die Verweise auf die Klassen *TopKnoten* und *GeoKnoten* wiederum die Koordinatenwerte der zugehörigen *GeoPunkte* ausgelesen werden können.

Als weiteres Element, das sich Kontext der Gleislagenbeschreibung zuordnen lässt, existiert die Klasse *Strecke* im PlanPro-Datenschema. Eine Strecke setzt sich aus mehreren *TopKanten* zusammen, allerdings gehören nicht alle *TopKanten* zwingend zu einer Strecke (Beispiele wären Abstell- und Rangiergleise).

Die Gleisachsen werden im rechten Teil der PreProcessing-Oberfläche für den Nutzer visualisiert. Außerdem werden die Koordinatenwerte des gewählten Referenzpunktes dargestellt, wie in Abbildung 4.10 zu erkennen ist.

Neben der Beschreibung der Achsen im Grundriss verfügt das PlanPro-Datenmodell auch über eine Klasse *Hoehenpunkt*. Diese gibt die Höhe der Kante in einem bestimmten Punkt an. Da bei der Gestaltung einer Gradienten ebenfalls zahlreiche Regeln zu Steigungs- und Krümmungswechseln existieren, kann angenommen werden, dass die Angabe der Steigung lediglich in einzelnen Punkten zwar für die Planung der *LST*-Komponenten ausreichend ist, aber nicht für die widerspruchsfreie Abbildung des kompletten Gradientenverlaufs eines Gleises verwendbar sein dürfte. Dieser Sachverhalt kann ausgehend vom vorliegenden Beispielprojekt nicht abschließend bearbeitet werden, da hier lediglich vier Instanzen der Klasse *Hoehenpunkt* hinterlegt sind, die allesamt den Parameterwert 0.000 für den Parameter `Hoehenpunkt_Hoehe` aufweisen.

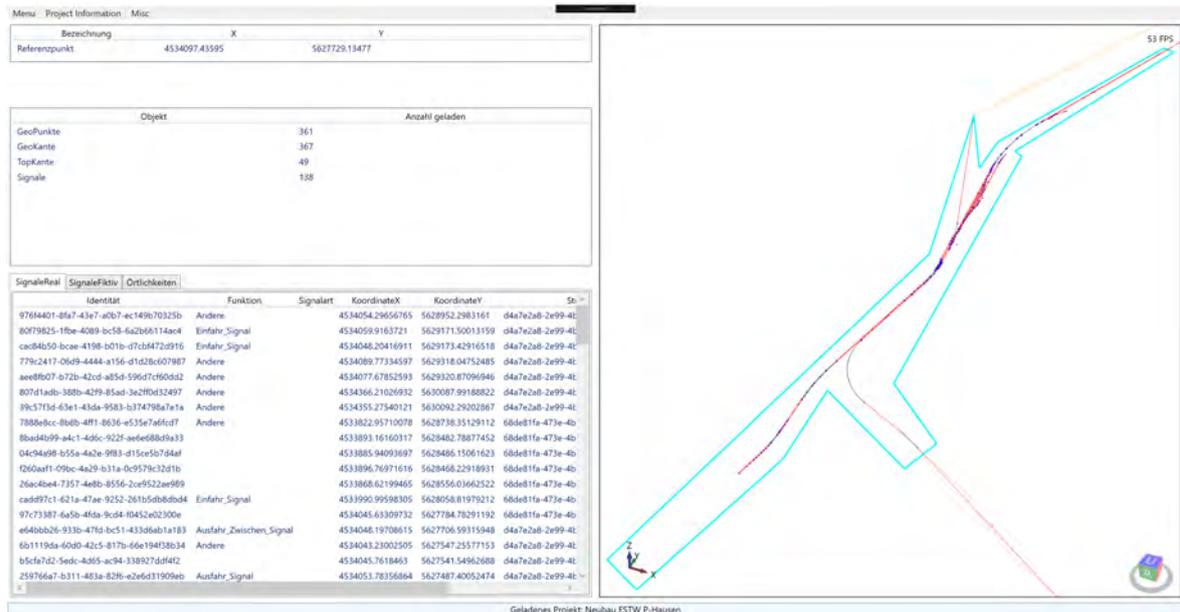


Abbildung 4.10: Visualisierung der Gleislage im PreProcessing Tool

### Transfer der Gleisachsen in das BIM-Modell

In das Revit-Modell werden die *GeoKanten* sowie die *GeoPunkte* mit ihren Koordinatenwerten übersetzt, um das Knoten-Kanten-Modell des Gleisnetzes möglichst exakt abbilden zu können. Da die Beispieldatei PHausen in der vorliegenden Version lediglich Trassierungselemente der Form *Gerade* und *Bogen* aufweist, werden diese beiden Fälle vorrangig betrachtet und für andere Formen eine allgemeine Annäherung durch Geraden vorgehalten. Weitere mögliche Trassierungsformen sind über die zuvor erwähnte Enumeration in der XSD-Datei geregelt:

- Blosskurve
- Bogen
- Gerade
- Klothoide
- Km\_Sprung
- Richtgerade\_Knick\_am\_Ende\_200\_gon
- S\_Form\_einfach\_geschwungen
- sonstige
- Uebergangsbogen\_S\_Form

Ein solches Knoten-Kanten-Modell kann in einem Revit-Projekt zum Beispiel mit Modelllinien dargestellt werden. Diese werden im Folgenden neben der Referenzierung von Bauteilen in der Grundriss-Ebene auch als SOK angenommen, auch wenn keine Steigungen modelliert werden. Alle Bauteile, deren Attribute sich auf die SOK beziehen, werden auf diese Höhe referenziert. Im Revitprojekt wird diese auf  $z = 0.00$  m (= Ebene 0) gesetzt.

Modelllinien können keine eigenen Parameter zugeordnet werden, weshalb diese Darstellung der Gleisachsen reinen Visualisierungscharakter besitzt und keine weiteren fachlichen Informationen aus der PlanPro-Datei in das Revit-Projekt überträgt. Allerdings können Modelllinien zur Anordnung von linienförmigen Familien verwendet werden.

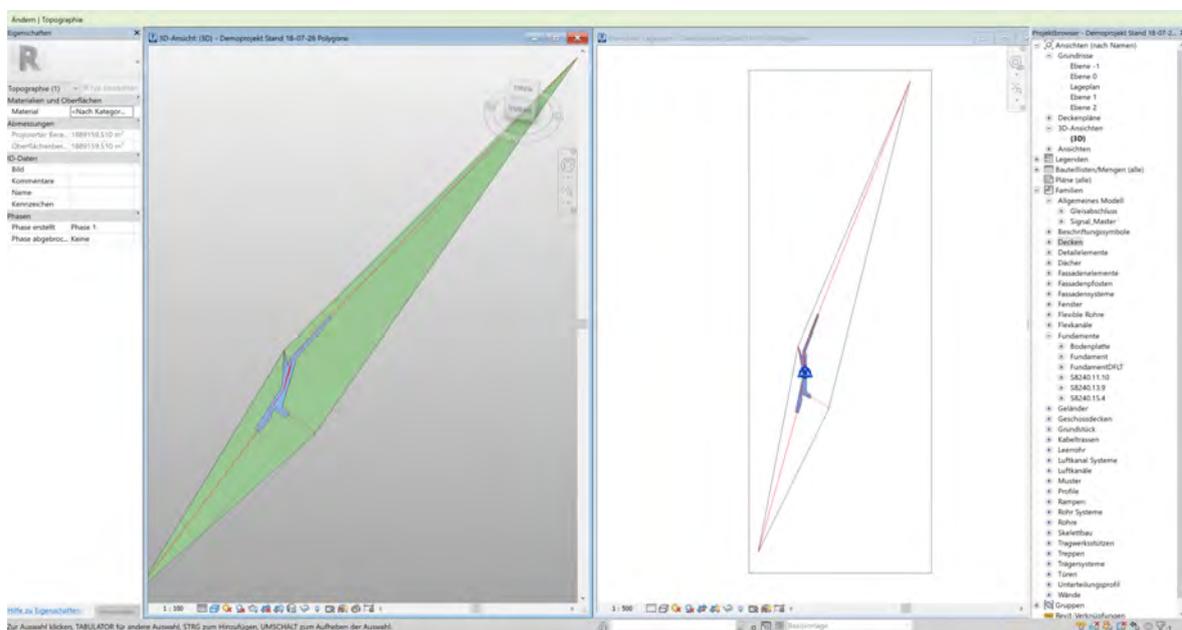


Abbildung 4.11: Importierte Achsen der Gleise in Autodesk Revit

#### 4.6.5 Platzierung von Gleisoberbau und Lichtraumprofil

Die platzierten Modelllinien werden nun verwendet, um die Lage der Schienenprofile durch die Platzierung von Familien zu modellieren, die das freizuhaltende Lichtraumprofil sowie den Gleisoberbau darstellen. Dafür werden profilbasierte Familieninstanzen entlang der bereits importierten Kanten mittels einer Sweep-Operation erstellt. Sowohl für den Oberbau als auch für das Lichtraumprofil werden eigene Familien angefertigt, die wiederum mehrere Typen beinhalten können. Die geometrische Ausprägung und die Komposition verschiedener Elemente können im Familieneditor vorgenommen werden, der in Abbildung 4.12 abgebildet ist.



als PlanProGuid bezeichnet wird und eine Verknüpfung zum ursprünglichen Knoten-Kanten-Modell der PlanPro-Datei schafft. Dieser Parameter wird als Instanzparameter erstellt, da dieser für jedes einzelne Element zu belegen ist.

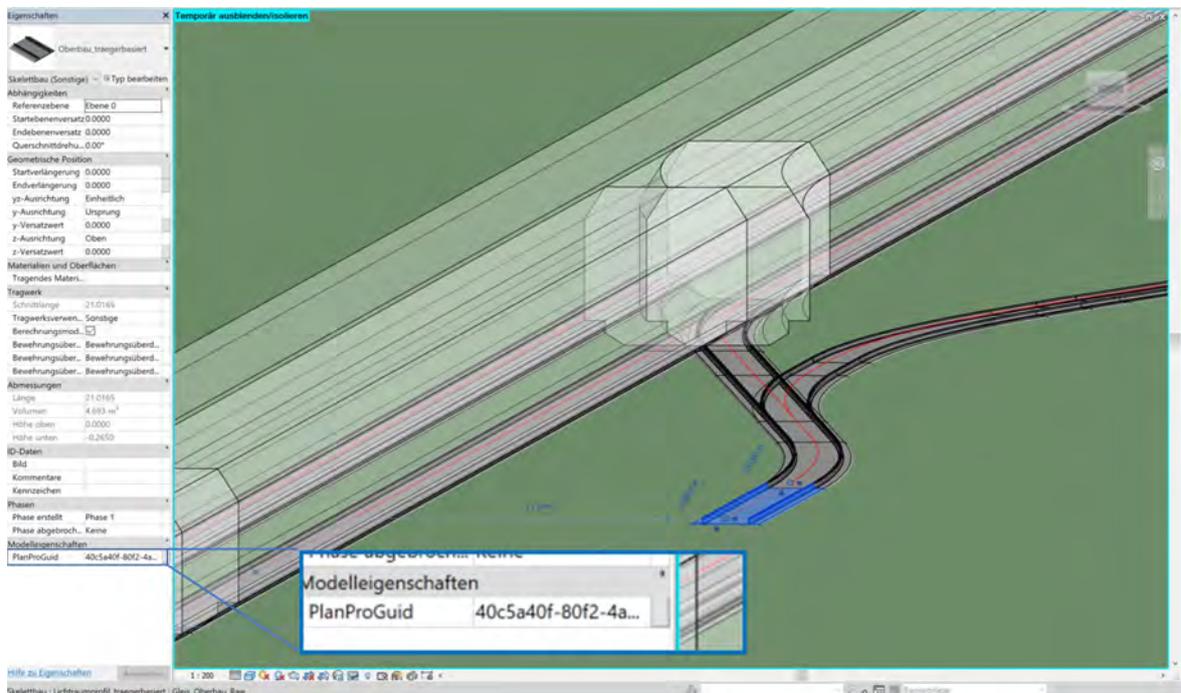


Abbildung 4.13: Platziertes Oberbau und Lichttraumfamilien mit dem Parameter "PlanProGuid"

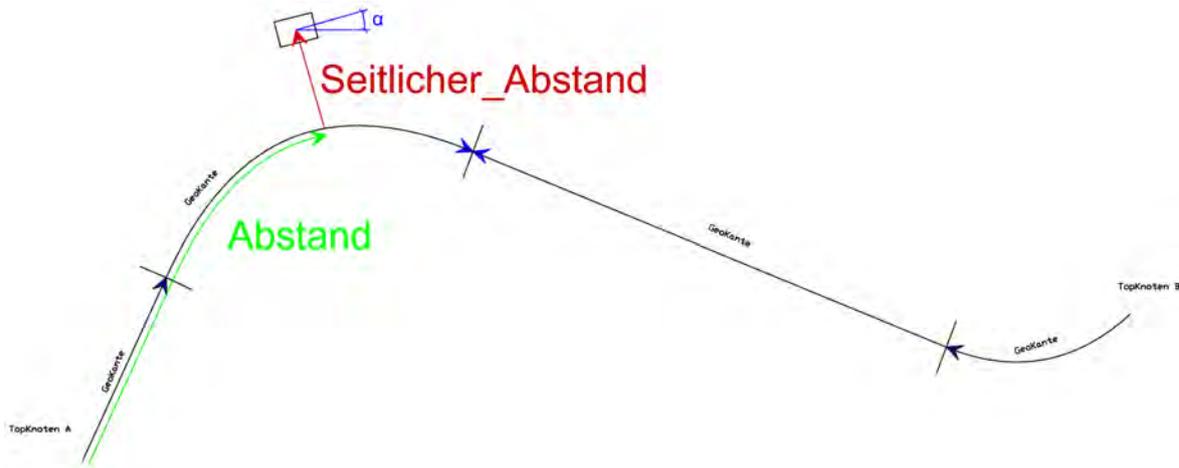
#### 4.6.6 Platzierung von punktförmigen Objekten

Als Punkt-Objekte werden im PlanPro-Schema Elemente verstanden, die keine räumliche Ausdehnung entlang des Gleises haben. Die Platzierung solcher Bauteile erfolgt über folgende Elemente:

- ID\_Top\_Kante
- Abstand
- Wirkrichtung
- Seitlicher\_Abstand

Informativ werden außerdem die zugehörige Strecke über das Element ID.Strecke sowie der zugehörige Streckenkilometer angegeben. Ergänzend dazu existiert auch noch der Parameter SeitlicheLage, der die Lage links oder rechts von der Gleisachse klassifiziert und für die Platzierung einiger Bauteile auch ohne Angabe einer exakten Länge ausreichend ist.

Um punktförmige Bauteile im Revit-Projekt anordnen zu können, werden die in PlanPro gegebenen Lageinformationen eines Punktobjekts auf kartesische Koordinaten umgerechnet und anschließend in ein projektspezifisches Koordinatensystem transformiert. Das notwendigen Eingangsparameter sind in Abbildung 4.14 abgebildet.



**Abbildung 4.14:** Berechnung der kartesischen Koordinaten auf Grundlage der gegebenen Gleisachsen

### Bestimmung der Elementkoordinaten im Projektkoordinatensystem

Wie auch im PlanPro-Datenschema stellt die Punkt\_Objekt-Klasse in der internen Datenstruktur ein übergeordnetes Element dar, welches im PreProcessing-Tool als abstrakte Klasse behandelt wird. Diese Klasse stellt eine Funktion zur Berechnung der Koordinatenwerte bereit und erfordert neben den innerhalb der PunktObjekt-Klasse definierten Attributen das zugehörige Knoten-Kanten-Modell als Input. Ausgegeben werden sollen die x- und y-Wert im Realkoordinatensystem sowie die Drehung des zu platzierenden Objektes. Dies ist wichtig, da im Gegensatz zu einem gezeichneten Lageplan auch als PunktObjekt bezeichnete Elemente eine geometrische Ausdehnung aufweisen, die berücksichtigt werden sollte.

**Code 4.3:** Input und Output der Funktion 'CalcPositionAndRotation'

```

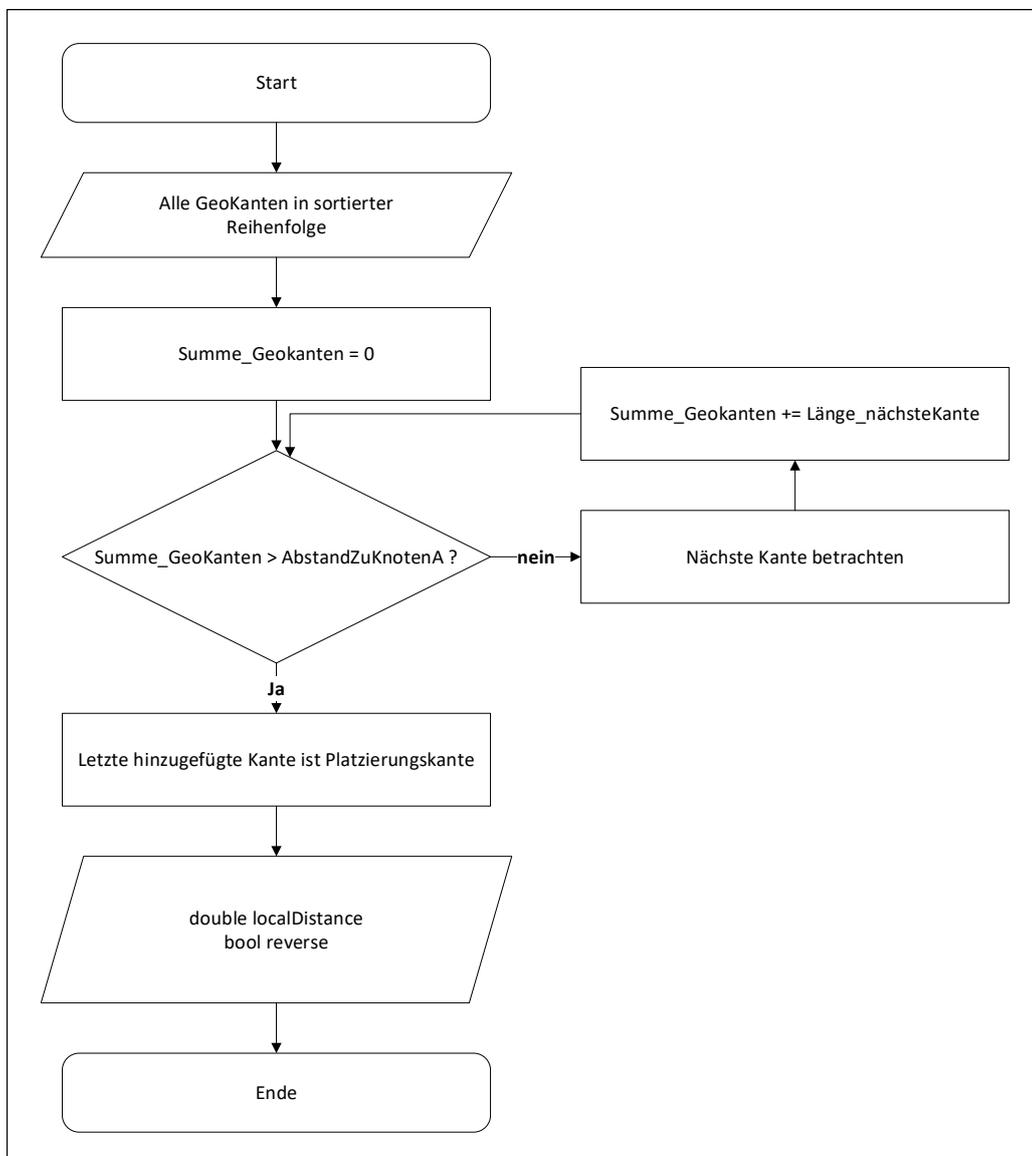
1 public Point3D CalcPositionAndRotation(
2     Guid topKanteId,
3     double AbstandZuKnotenA,
4     double seitlicherAbstand,
5     ref KnotenKantenModell knotenKantenModell,
6     ref double RotationToNormalX,
7     ref Guid GeoKante)
8 {
9     ...
10 }

```

Im ersten Schritt werden alle GeoKanten in unsortierter Reihenfolge in einer Liste gesammelt, welche anschließend so sortiert werden, dass sie in gleicher Reihenfolge wie die Orientierung

der TopKante vorliegen. Wichtig zu erwähnen ist hierbei, dass GeoKanten nicht zwangsläufig in der gleichen Weise wie die übergeordnete Topkante orientiert sind. Somit kann der Endknoten der  $(i+1)$ sten GeoKante jener Knoten sein, der an KnotenB der  $i$ -ten GeoKante anschließt. Dieser Sachverhalt wird über einen eigenen Parameter *reverse* vom Typ bool beschrieben und zu jeder betrachteten GeoKante gespeichert. Um diese Informationen nur einmal für jede TopKante ermitteln zu müssen, wird die ermittelte Sortierung der Geokanten anschließend in das KnotenKantenModell gespeichert und kann von dort wieder aufgerufen werden.

Nun wird jene GeoKante gesucht, an welcher das betreffene PunktObjekt platziert werden soll. Das Flussdiagramm in [Abbildung 4.15](#) beschreibt diesen Algorithmus.



**Abbildung 4.15:** Flussdiagramm zum Auffinden der GeoKante, an der das PunktObjekt platziert werden soll

Der Wert `localDistance` beschreibt den Abstand zwischen dem Startknoten und der Position des Punktobjektes:

$$localDistance = GeoKante.Laenge - (SummeGeoKanten - AbstandZuKnotenA)$$

Ob dieser Abstand von KnotenA oder KnotenB der GeoKante zu messen ist, kann nun über den Parameter `reverse` bestimmt werden.

Nun kann über Vektorbetrachtungen der gesuchte Platzierungspunkt auf der GeoKante ermittelt werden. Daran anschließend ist es erforderlich, die Parameter `seitlicher_Versatz` sowie `Wirkrichtung` zu berücksichtigen, die sich wiederum auf die Orientierung der TopKante beziehen.

### Ausrichtung eines Punktobjektes

Da Objekte, die `Punkt_Objekt` als übergeordnete Klasse besitzen, im BIM-Modell nicht nur durch einen Punkt ohne Ausdehnung, sondern über einen geometrischen Körper repräsentiert werden, ist es notwendig, neben der Referenzstelle auf der Gleisachse auch den seitlichen Versatz sowie die Ausrichtung zur jeweiligen Strecke zu ermitteln. Hierfür werden die Parameter `Seitlicher_Abstand` sowie `Wirkrichtung` herangezogen. Ziel ist es, neben den Koordinatenwerten, die die seitliche Lage zur Gleisachse berücksichtigen, auch die Ausrichtung des Objektes in der XY-Ebene zu ermitteln.

Der Parameter `Seitlicher_Abstand` beschreibt den Versatz des Elements zur Gleisachse. Dabei wird in PlanPro folgende Konvention getroffen:

- positiver Wert: Element liegt rechts von der Topologie-Richtung
- negativer Wert: Element liegt links von der Topologie-Richtung

Rechnerisch wird dieser Sachverhalt über eine Vektor-Betrachtung erfasst: Zuerst wird die tangentielle Richtung der Gleislinie im ermittelten Punkt berechnet und durch einen Vektor beschrieben, der in die gleiche Richtung wie der Verlauf der TopKante zeigt:

$$\vec{t} = \begin{pmatrix} x_{tang} \\ y_{tang} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Aus dem Kreuzprodukt mit dem Einheitsvektor in z-Richtung kann ein Vektor ermittelt werden, der senkrecht zur Gleisachse steht:

$$\vec{e}_z = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \vec{n} = \vec{t} \times \vec{e}_z \quad \vec{n} = \frac{1}{|\vec{n}|} \cdot \vec{n}$$

Der ermittelte Gleisachsen-Punkt wird anschließend um den Normalenvektor mit der Länge des Parameterwertes Seitlicher\_Abstand verschoben:

$a = \text{Seitlicher Abstand}$

$$\vec{P}_{Element} = \vec{P}_{Achse} + a \cdot \vec{n} = \begin{pmatrix} x_{mitVersatz} \\ y_{mitVersatz} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Ausgehend von den eingeführten Vektoren wird zusätzlich der Winkel  $\alpha$  berechnet, der die Orientierung des Objektes in der XY-Ebene beschreibt. Als Referenz wird der Einheitsvektor in x-Richtung verwendet:

$$\vec{e}_x = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Der Winkel berechnet sich unter Zuhilfenahme des Skalarproduktes aus dem Tangentenvektor  $\vec{t}$  und dem Einheitsvektor:

$$\alpha = \frac{\langle \vec{t}, \vec{e}_x \rangle}{|\vec{t}| \cdot |\vec{e}_x|}$$

Mit dem Parameter Wirkrichtung wird beschrieben, ob das Element für das Befahren **in** oder **gegen** die Richtung der TopKante oder in **beiden** Bedeutung hat. Da Punktobjekte existieren, die zum Beispiel Ausleger haben, muss also immer das Zusammenspiel aus den Attributen Seitlicher\_Abstand und Wirkrichtung betrachtet werden. Die möglichen Kombinationen sind Tabelle 4.1 zu entnehmen:

	seitlicher Abstand > 0	seitlicher Abstand < 0
Wirkrichtung in	$\alpha = \alpha$ Ausleger "links"	$\alpha = \alpha$ Ausleger "rechts"
Wirkrichtung gegen	$\alpha = \alpha + 180$ Ausleger "rechts"	$\alpha = \alpha + 180$ Ausleger "links"

**Tabelle 4.1:** Zusammenhang zwischen Elementausrichtung und Wirkrichtung

Die Verwendung dieser Funktionen wird in Abschnitt 4.6.8 zur Berechnung der Realkoordinaten von Signalanlagen verwendet.

#### 4.6.7 Platzierung von linienförmigen Objekten

Neben punktförmigen Komponenten werden in PlanPro-Datenschema auch linienartige Bauteile erfasst. Beispiele hierfür sind unter anderem Bahnsteigkanten. Für deren Position wird jeweils die betreffende TopKante sowie zwei Abstände für den Start- und Endpunkt des Bauteils angegeben, die wiederum vom Startknoten der TopKante gemessen werden. Das Vorgehen zur Ermittlung der Koordinaten ist identisch mit dem eben erläuterten Vorgehen, allerdings müssen weitere Betrachtungen angestellt werden, wenn sich das Linienbauteil über mehr als eine Geokante erstreckt. Dann ist es erforderlich, eine separate Beschreibung für die gesuchte Kante in das Datenmodell einzubetten.

#### 4.6.8 Anwendung: Platzierung von Signalen

Signale stellen eines der wesentlichen Elemente der LST dar, denn sie dienen zur unmittelbaren Weitergabe relevanter Informationen vom Stellwerk an den Fahrzeugführer, um Fahrwege abzusichern (Maschek, 2009). Da die zu transportierenden Anweisungen sehr vielfältig sein können, wird die Abbildung von Signalen im PlanPro-Datenschema durch die Verknüpfung verschiedener Elemente gelöst. Dies stellt eine anspruchsvolle Aufgabe für die Übersetzung der Daten in das BIM-Modell dar und wird nun vorgestellt.

Wie in anderen Kapiteln bereits beschrieben, stellt sich bei dem Versuch, aus einem stark semantischen Datenmodell ein dreidimensionales BIM-Modell zu erzeugen, immer wieder die Frage, welche Informationen einer eigenen geometrische Repräsentation bedürfen und welche Parameter als PropertySets an übergeordnete Bauteile angehängt werden sollen. Dazu wurden zwei Varianten implementiert, wovon der erste primär auf den Transport semantischer Informationen abzielt und der zweite darauf, die in PlanPro hinterlegten Verweise auf Regelzeichnungen zu analysieren.

#### Verwendung eines Geometry-Dummies mit PropertySets

PlanPro ist wie beschrieben ein Datenmodell, welches zahlreiche logische Informationen transportieren kann, die zur sicheren Steuerung des Eisenbahnverkehrs benötigt werden. Die exakte geometrische Abbildung eines realen Bauteils spielt für diese Aufgabe eine untergeordnete Rolle. Demnach ist ein denkbarer Ansatz, Signale mit einfachen Geometrien in einem BIM-Modell abzubilden und an diese Körper eine Vielzahl von Attributen anzuhängen, die aus PlanPro leicht abgegriffen werden können. Soll das erzeugte BIM-Modell später nur für An-

wendungsfälle verwendet werden, die ohne hohe Geometrie-Detaillierung auskommen, so ist dieser Ansatz als zielführend zu betrachten.

Hierzu wurde eine eigene Tabelle in der internen Datenbank hergestellt, die für jedes Signalobjekt zahlreiche Attribute tragen und ohne größeren Aufwand erweitert werden kann. Die Geometrie des Körpers wird so weit entwickelt, dass für den Modellbetrachter eindeutig klar wird, dass es sich bei dem dargestellten Bauteil um ein Signal handelt.

Das XML-Element Signal in PlanPro wird vom übergeordneten Datentyp Punkt\_Objekt abgeleitet und stellt dementsprechend alle Informationen bereit, um den Geometriekörper im BIM-Modell platzieren zu können. Hierfür wird auf dem im Signal-Element gegebenen Parametern die entsprechende Funktion aufgerufen, die in Abschnitt 4.6.6 vorgestellt wurde.

Manche Punktobjekte referenzieren auf mehrere TopKanten, wie folgendes Beispiel zeigt:

**Code 4.4:** XML-Code eines Signal-Rahmens in einer PlanProDatei

```

1 <Signal>
2   <Identitaet>
3     <Wert>F2757788-CFEC-4BBB-8B7E-2E9E61935DCE</Wert>
4   </Identitaet>
5   <Basis_Objekt_Allg> ... </Basis_Objekt_Allg>
6   <Objektreferenzen/>
7
8   <Punkt_Objekt_Strecke>
9     <ID_Strecke>
10      <Wert>D4A7E2A8-2E99-4BE1-BA9B-60B135695348</Wert>
11    </ID_Strecke>
12    <Strecke_Km>
13      <Wert>119,619</Wert>
14    </Strecke_Km>
15  </Punkt_Objekt_Strecke>
16
17  <Punkt_Objekt_TOP_Kante>
18    <Abstand>
19      <Wert>0.209</Wert>
20    </Abstand>
21    <ID_TOP_Kante>
22      <Wert>0EC10A54-6AA1-4D7F-BC48-DE1568E94603</Wert>
23    </ID_TOP_Kante>
24    <Wirkrichtung>
25      <Wert>gegen</Wert>
26    </Wirkrichtung>
27    <Seitlicher_Abstand>
28      <Wert>1.750</Wert>
29    </Seitlicher_Abstand>
30  </Punkt_Objekt_TOP_Kante>
31
32  <Punkt_Objekt_TOP_Kante>
33    <Abstand>
34      <Wert>0.205</Wert>
35    </Abstand>
36    <ID_TOP_Kante>
37      <Wert>C9B7F2DD-25D7-4837-884A-F2690EB8A41D</Wert>
38    </ID_TOP_Kante>
39    <Wirkrichtung>
40      <Wert>gegen</Wert>
41    </Wirkrichtung>
42    <Seitlicher_Abstand>
43      <Wert>1.751</Wert>
44    </Seitlicher_Abstand>
45  </Punkt_Objekt_TOP_Kante>
46
47  <Punkt_Objekt_TOP_Kante>
48    <Abstand>
49      <Wert>450.319</Wert>
50    </Abstand>

```

```
51 <ID_TOP_Kante>
52 <Wert>7E252895-88A7-42EF-AE56-0715457565AB</Wert>
53 </ID_TOP_Kante>
54 <Wirkrichtung>
55 <Wert>in</Wert>
56 </Wirkrichtung>
57 <Seitlicher_Abstand>
58 <Wert>1.745</Wert>
59 </Seitlicher_Abstand>
60 </Punkt_Objekt_TOP_Kante>
61
62 <Signal_Real>
63 <Signal_Befestigungsart>
64 <Wert>Pfahl</Wert>
65 </Signal_Befestigungsart>
66 </Signal_Real>
67 </Signal>
```

Dieser Fall tritt gemäß der Definition eines Punkt\_Objekts im PlanPro-Datenschema dann ein, wenn das Element für mehrere TopKanten gilt. Beispiele hierfür können Grenzzeichen oder Signale in Weichenbereichen sein.

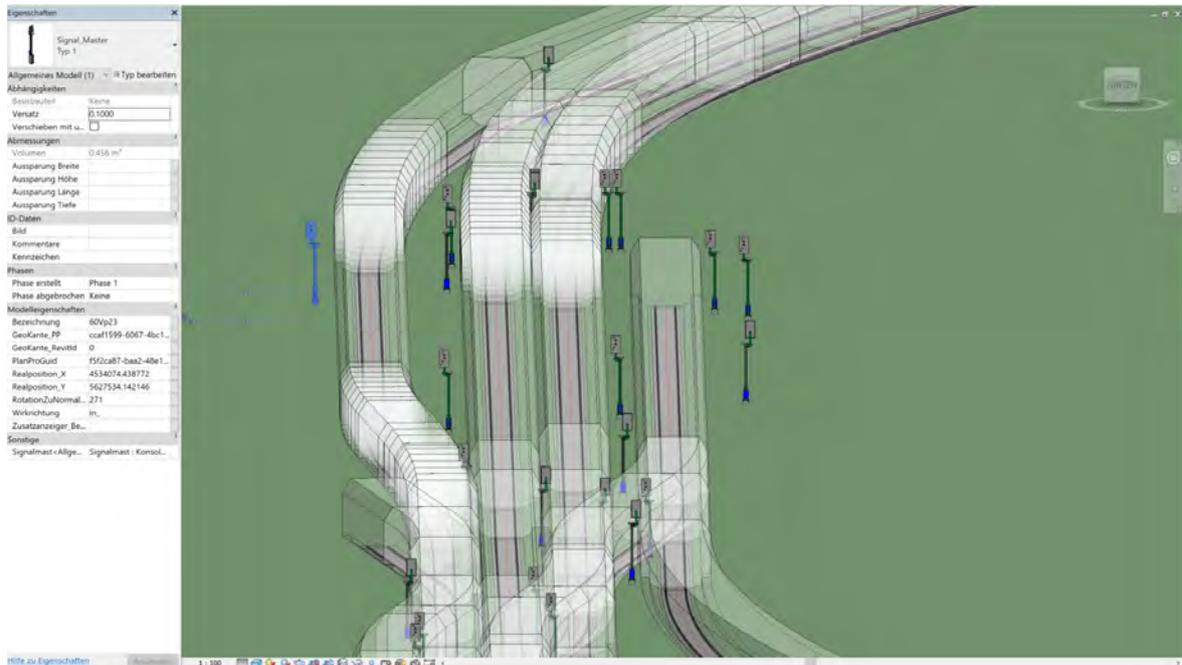
Zur Verarbeitung im internen Datenmodell wird das erste Element Punkt\_Objekt\_TOP\_Kante zur Bestimmung der Koordinaten sowie zur Platzierung im BIM-Modell verwendet. Problematisch ist hierbei allerdings die Tatsache, dass neben den Koordinatenwerten auch die Ausrichtung des Objektes betrachtet wird und bei mehreren referenzierten Kanten nicht eindeutig definiert werden kann, wie das Objekt konkret im Raum liegt.

### Fazit Verwendung von Geometrie-Dummies

Die Verwendung von Geometrie-Dummies ist nur für sehr wenige Anwendungen zielführend, daher wurde ergänzend versucht, die Befestigung der Signale genauer zu analysieren und daraus genauere Geometrieabbildungen für die Signale in das BIM-Projekt zu transferieren.

Wie bereits bei den Ausführungen zur Modellierung der Gleislage im BIM-Modell beschrieben wurde, können auch die hier platzierten Geometrie-Dummies mit beliebig vielen Parametern an ihren Familienkörpern ausgestattet werden.

Abbildung 4.16 zeigt einen Ausschnitt aus dem generierten BIM-Modell, in dem Dummy-Körper für alle Signal-Elemente platziert wurden.



**Abbildung 4.16:** Angeordnete Signal-DummyObjekte an der in den Signal-Klassen hinterlegten Positionen

### Erstellung eines detaillierteren Geometriemodells für Signale

Der eben beschriebene Ansatz der Platzierung von Platzhalter-Geometrikörpern ist nur für sehr wenige Anwendungsfälle ausreichend, da die Gestalt der eingesetzten Signale in Realität stark variiert und daher genauer erfasst werden muss. Nur so kann ein Modell erstellt werden, welches für die weitere Nutzung der aufbereiteten Daten einen wirklichen Mehrwert bietet.

Die geometrischen Ausprägungen eines Signals werden in der Klasse `Signal_Befestigung` genauer erfasst. An einer `Signal_Befestigung` können entweder weitere `Signal_Befestigung` angebracht sein oder Elemente wie `Signal_Rahmen` platziert werden. `Signalrahmen` verweisen wiederum sowohl auf ihre Befestigung als auch auf eine Instanz der Klasse `Signal`, sodass nun einerseits eine detaillierte geometrische Abbildung erzeugt werden kann und gleichzeitig die zuvor an die Platzhalter-Körper angehängten Attribute zugänglich sind. Folgender Codeausschnitt aus dem Beispielprojekt PHausen verdeutlicht diesen Sachverhalt.

**Code 4.5:** XML-Code eines Signal-Rahmens in einer PlanProDatei

```

1 <Signal_Rahmen>
2   <Identitaet>
3     <Wert> [...] </Wert>
4   </Identitaet>
5
6   [...]
7

```

```

8 <ID_Signal>
9 <Wert>24BC35F0-55FC-40B8-8738-FC31257076B0</Wert>
10 </ID_Signal>
11
12 <ID_Signal_Befestigung>
13 <Wert>50A2A2B4-1262-4362-BE38-8B955C2F425C</Wert>
14 </ID_Signal_Befestigung>
15
16 <Rahmen_Art>
17 <Wert>Blechtafel</Wert>
18 </Rahmen_Art>
19 </Signal_Rahmen>

```

Für Instanzen der Klasse `Signal_Befestigung` finden sich nun auch Verweise auf Regelzeichnungen, die die Gestalt des betreffenden Objektes beschreiben.

Um einen ersten Überblick über die notwendigen Regelzeichnungen einer `PlanPro`-Datei zu erhalten, wurde eine `Export`-Schnittstelle in das `PreProcessing-Tool` implementiert, mit der man eine tabellarische Darstellung aller in der vorliegenden `PlanPro`-Datei referenzierten Regelzeichnungen erzeugen kann. Als `Export-Format` wurde `CSV` gewählt, da dieses sehr einfach in gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen verarbeitet und visualisiert werden kann. Das Ergebnis dieses Zwischenschrittes ist in [Abbildung 4.17](#) dargestellt.

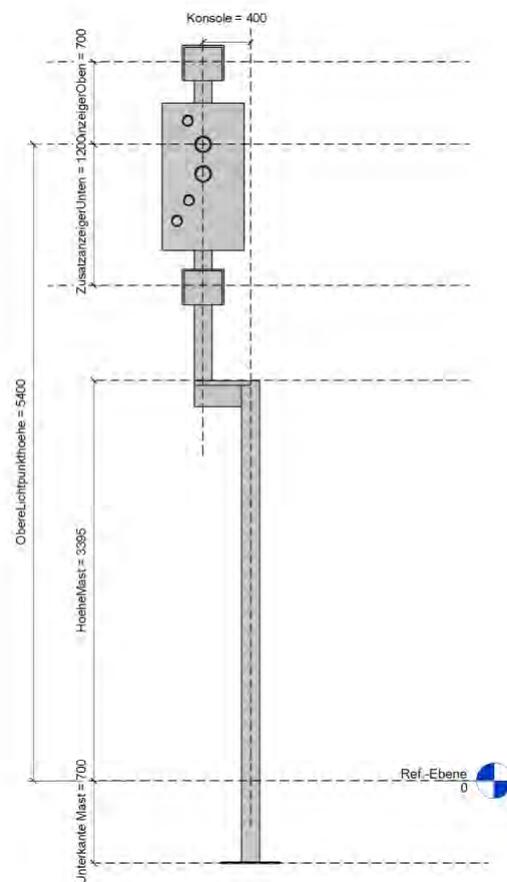
RZ-Nummer	Bilder	Bezeichnung
S 8000.5.6	20	Anordnung der Hauptsig. m. Vorsignalfunktion Haupt- oder Vorsignale mit und ohne Zusatzsignale an Signalbrücke oder Ausleger
S 6250/2440 Bl.15	8	Anordnung der Mehrabschnittssignale und Hauptsignale mit und ohne Zusatzanzeiger bei Lichtraumprofil GC
S 8000.7.1	8	Anordnung der Lichtsperrsignale bei Lichtraumprofil GC
S 8000.8.2	4	Anordnung alleinstehender Zusatzanzeiger bei Lichtraumprofil GC
S 8000.6.2	1	Anordnung der Hauptsig. m. Vorsignalfunktion Haupt- oder Vorsignale mit und ohne Zusatzsignale an Signalbrücke oder Ausleger
S 8240.13.9	3	Betonfuß
S 8240.11.10	3	Betonfuß
S 8240.15.4	1	Ramppfahfundament
S 7314.12.9	1	Elektr. Weichenantrieb an Zungenvorrichtung der EW 60-500...(Fz)
S 7314.21.12	1	Elektr. Weichenantrieb an Herzstück mit federnd bewegl. Spitze und Klammermittelverschluss
S 7314.22.6	2	Elektr. Weichenantrieb an Zungenvorrichtung der EW 54-500...
S 7314.1.7	1	Elektr. Weichenantrieb
S 7320.9.1	1	Elektr. Weichenantrieb an anklammerbar gekuppelter Gleissperre an EW 49-190/300...-Anordnung
S 7320.7.2	1	Elektrischer Weichenantrieb an einf.anklemmb. Gleissperre
S 7314.34.6	2	DKW 49/54-190-1:...
S 7314.1.7	1	Elektr. Weichenantrieb
S501.33.5	3	Lf 6 Geschwindigkeits-Ankündigungssignal
S501.34.3	3	Signal Lf 7 Geschwindigkeitssignal
S516.2.5	3	Halbtafel mit Zusatzschild Rangiertafel
S 8130.13.2	1	Signalausleger über 1 Gleis
S 7320.2.4	1	Anordnung elektr. Weichenantrieb an einf. anklammerb. Gleissperre

**Abbildung 4.17:** Enthaltene Verweise auf Regelzeichnungen im Beispielprojekt PHausen

Signal\_Befestigungen implementieren ebenfalls die übergeordnete Klasse Punkt\_Objekt, daher kann auch hier wieder auf die in Kapitel 4.6.6 vorgestellten Algorithmen verwiesen werden.

### Verwendung von Regelzeichnungen zur Modellierung von Signalbefestigungen

Eine mögliche Strategie, wie mit Informationen aus Regelzeichnungen zur Modellerstellung umgegangen werden kann, wurde in Kapitel 4.6.1 bereits beschrieben. Diese Herangehensweise wurde nun für Modellierung der Signalbefestigungen angewendet und einzelne Familien für verschiedene Signaltypen und diverse Fundamente erstellt. Abbildung 4.18 zeigt die Frontansicht des Geometrikörpers eines modellierten Signals, wobei die gezeigten Maße lediglich exemplarisch zu verstehen sind und kein exaktes Abbild einer Regelzeichnung darstellen.



**Abbildung 4.18:** Geometrikörper eines Signalmasten mit Hauptsignal und Zusatzanzeigern

Ausgehend von den Informationen, die in der Regelzeichnung enthalten sind, wurde versucht, einen möglichst exakten Geometrikörper zu modellieren. Die in Abbildung 4.18 sichtbaren Maßketten sind allerdings bereits alle Abmessungen, die der zugrundeliegenden Regelzeichnung entnommen werden konnten. Informationen über die Ausprägung der Profile für die

Masten und Konsolen oder die Positionierung von zusätzlichen Schildern am Signalmast sind darin nicht enthalten.

Für die an einem Signalmast befestigten Signalrahmen existieren zum Teil eigene Regelzeichnungen. Beispielhaft sei hier die Regelzeichnung S 8112.1.2 genannt, die die Geometrie eines Hauptsignals mit Vorsignalfunktion beschreibt. Dabei handelt es sich um eine sehr exakte und weitreichend bemaßte Werkstattzeichnung, die den Signalschirm L640 beschreibt.

Die Regelzeichnung S 8121.1.1 beschreibt ebenso die Gestalt eines Signalschirms, der als S 640 bezeichnet wird und eine ähnliche Gestalt zur Bauart hat, wie sie in S 8112.1.2 gezeigt wird. Ein wesentlicher Unterschied zwischen diesen beiden Regelzeichnungen besteht allerdings darin, dass in Regelzeichnung S8112.1.2 ein Produkt der Firma Thales dargestellt ist und es sich bei dem in S 8121.1.1 gezeichneten Objekt um ein Siemens-Produkt handelt.

Da das PlanPro-Datenmodell bisher nur den ausrüstungstechnischen Bedarf gemäß Planteil 1 beschreibt, die die planerische Grundlage für die Signalbauindustrie (SBI) bildet, ist nachvollziehbar, dass im Fall von Signalschirmen nicht auf eine herstellerspezifische Regelzeichnung verwiesen werden kann. Soll allerdings auch schon vor der Vergabe an einen bestimmten Hersteller ein höheres Niveau an geometrischer Genauigkeit der modellierten Körper erreicht werden, wäre ein Verweis auf eine herstellernerneutrale Regelzeichnung wünschenswert. Eine Darstellung von herstellerspezifischen Bauteilen in einem BIM-Modell, welches für Ausschreibungs- und Vergabezwecke genutzt werden soll, kann mitunter rechtlich kritische Fragen aufwerfen, schließlich verpflichtet die Richtlinie 2004/18/EG über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge in Artikel 23 zur herstellernerneutralen Ausschreibung beziehungsweise zur Verwendung des Zusatzes 'oder gleichwertig' bei der Nennung konkreter Produkte (Europäisches Parlament und Rat, 2004).

Da die Signalrahmen immer direkt mit einer Signalbefestigung verknüpft sind, werden die Familien so parametrisiert, dass die Anwesenheit und die Gestalt der möglichen Signalrahmen (Zusatzanzeiger, Blechschilder, Kilometrierungstafeln) durch Unterfamilien der Befestigung geregelt wird. Somit vereinfacht sich der Positionierungsprozess und die geometrische Verbindung zwischen Befestigung und Signalrahmen ist direkt gegeben.

### **Attributierung der Signalbefestigungen**

Bei der Modellierung eines Bauteiles im Familieneditor von Autodesk Revit können sowohl geometrische als auch semantische Parameter angelegt werden. Abbildung 4.19 zeigt ein Set an Attributen.



Neben der Platzierung eines zum Signaltyp passenden Geometriekörpers werden alle Instanzparameter befüllt, um - wie auch bei der Platzierung der linienartigen Familien zur Beschreibung der Gleisachse - die Verknüpfung zur zugrundeliegenden PlanPro-Datei zu erhalten. Dies wird in Abbildung 4.21 ersichtlich.

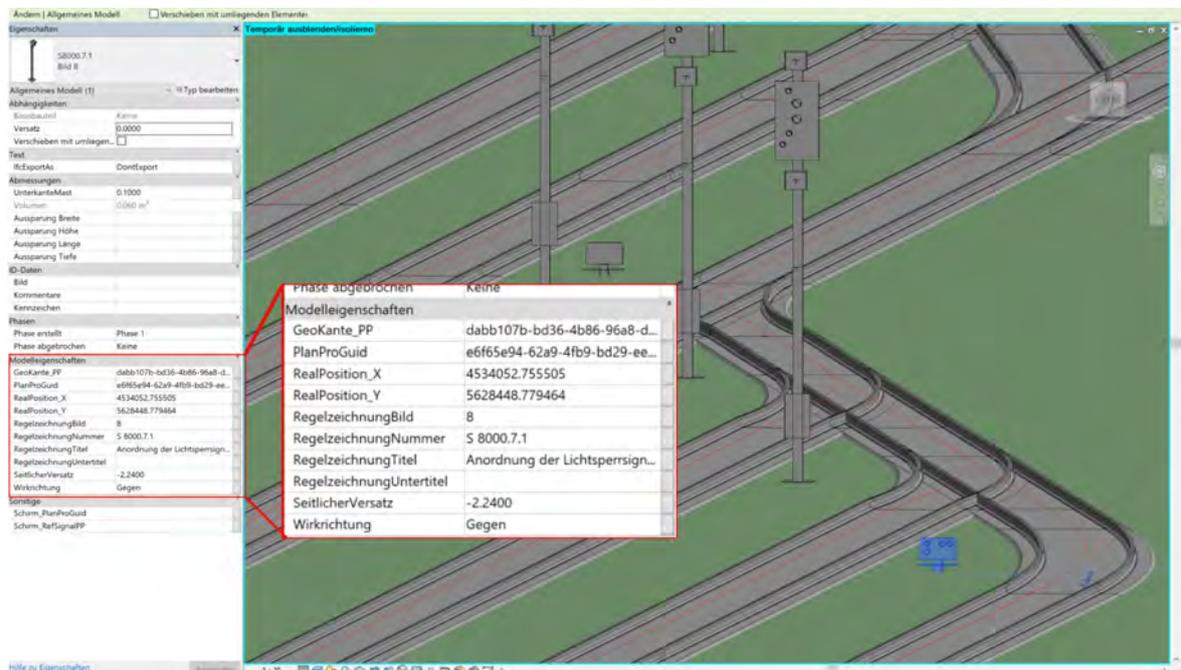


Abbildung 4.21: Parametrisierung eines platzierten Elements

## 4.7 Umgang mit Planungsänderungen

In der Planung eines Bauprojektes kommt es unweigerlich laufend zu Planungsänderungen, die in der Erstellung einer neuen PlanPro-Projektdatei enden können. Um lediglich die veränderten Parameter und Elemente in das zu erzeugende BIM-Modell zu übertragen, kann der Einsatz einer Datenbank sinnvoll sein. Datenbanksysteme bieten im Gegensatz zu textbasierten Speichermethoden zahlreiche Möglichkeiten und Verfahren zur Aktualisierung bestehender Einträge oder zum Hinzufügen neuer Informationen, sodass das zu generierende BIM-Modell bei Vorliegen einer aktualisierten PlanPro-Projektdatei lediglich aktualisiert und nicht vollkommen neu erzeugt werden muss.

Sinnvoll wäre hier auch eine Rückmeldung von möglichen Planungsanpassungen im BIM-Modell an die PlanPro-Datei. Dieser Schritt wird besonders dann interessant, wenn zukünftig ein BIM-Editor zur Verfügung steht, der spezifische Funktionen zur LST-Planung bereitstellen kann. Der vorgestellte Ansatz, der in weiten Teilen auf die Nutzung von allgemeinen Bauteilvorlagen und Proxy-Objekten basiert, könnte für die Implementierung der Rückmeldung an die PlanPro-Datei auch genutzt werden. Allerdings würde diese Erweiterung eine weitaus

größere Logik innerhalb des BIM-Autorenwerkzeugs erfordern, um ähnlich umfangreiche Überprüfungsmechanismen zu haben, wie etablierte Programme sie zur Planung von Leit- und Sicherungstechnik zur Verfügung stellen.

## 4.8 Bewertung der zur Verfügung gestellten Informationen zur Modellerstellung

In diesem Abschnitt werden die derzeit in PlanPro enthaltenen Informationen bewertet und existierende Schwierigkeiten bei der Modellerstellung benannt. In neueren Versionen können manche, hier kritisch bewertete Aspekte bereits verändert worden sein.

### 4.8.1 Geometrische Modellierung von Ausrüstungsgegenständen

Vergleicht man Abbildung 4.20 mit Abbildung 4.16 fällt auf, dass die Berücksichtigung der in den Regelzeichnungen hinterlegten Geometrieinformationen unbedingt erforderlich ist, da die räumliche Ausdehnung je nach Signal und örtlicher Situation variiert und diese für die anschließende Verwendung des Modells wichtig werden kann.

#### Fazit geometrische Modellierung

Der Grad der Ausarbeitung einer Komponente, die Teil eines BIM-Modells ist, wird über das Level of Development (LoD) beschrieben. Eine weitere Aufschlüsselung kann mit den Begriffen Level of Geometry (LoG) und Level of Information (LoI) getroffen werden, die unter anderem in der Arbeit von Mini (2016) im Kontext von Infrastrukturmodellen untersucht wurden.

Eine definitive Aussage, wie exakt ein digitales Abbild eines Bauteils ist, welches sich aus mehreren Einzelkomponenten zusammensetzt, kann in aller Regel nicht getroffen werden. Diese Bewertung hängt davon ab, ob man beispielsweise eine Signalanlage als Gesamtes nach dem LoG-Konzept klassifiziert oder jede einzelne Komponente wie Signalmasten und -rahmen untersucht. Die im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellten Regelzeichnungen zu Signalbefestigungen weisen wie in Abschnitt 4.6.8 gezeigt nur eine begrenzte Anzahl an Bemä-ßungen auf. Werden hingegen die angesprochenen herstellerepezifischen Regelzeichnungen, die den Charakter einer Werkstattzeichnung haben, als Grundlage für die Modellbildung verwendet, so könnten für diese einzelnen Bauteile sehr hohe geometrische Detaillierungsgrade erreicht werden, die in aller Regel in dieser Tiefe nicht für BIM-Modelle notwendig sind.

Die Familien, die für diese Arbeit erstellt wurden und die Gesamtgestalt eines Lichtsignals widerspiegeln sollen, können demnach etwa als LoG 200 bis 300 eingeordnet werden. Die

grundlegende Gestalt ist zwar bereits gut abgebildet, die Regelzeichnungen stellen allerdings keine Informationen über Verbindungen und Anschlüsse sowie über die tatsächlichen Querschnitte der Masten und Ausleger zur Verfügung. Ebenso können aus den Regelzeichnungen zu den Signalschirmen Maße und Attribute abgeleitet werden, die als herstellerunabhängig angesehen werden können. Da PlanPro als Datengrundlage allerdings keine konkrete Aussage trifft, welche Gestalt Signalrahmen tatsächlich haben, kann hier keine widerspruchsfreie Abbildung vorgenommen werden.

Stehen zu einem späteren Zeitpunkt im Projektverlauf detailliertere Informationen über die Gestalt der Signalanlagen zur Verfügung, bietet Revit die Möglichkeit, bestehende Familien und deren Instanzen durch andere Familien auszutauschen. Außerdem wurden alle neu modellierten Familien so parametrisiert, dass auch derzeit noch unbekannte geometrische Größen bei Vorliegen genauerer Informationen aktualisiert werden können. Für diesen Fall kommt das Konzept der Typ-Parameter in Revit ein weiteres Mal zum Tragen: Wird ein Typ-Parameter im Familieneditor angepasst und die Familie anschließend zurück in ein Revit-Projekt geladen, werden alle bereits platzierten Familieninstanzen entsprechend der vorgenommenen Änderungen angepasst und gleichzeitig die eingegebenen Exemplar-Parameter erhalten.

Ein Beispiel für die Parametervergabe für eine selbst-erzeugte Signalfamilie zeigt Abbildung 4.19.

### **Schwierigkeiten und weitere Entwicklungsmöglichkeiten**

Folgende Befestigungsarten sind für Signalanlagen im XSD-Schema des PlanPro-Datenmodells hinterlegt:

- Fundament
- Mast
- Pfosten
- Rahmen
- Schienenfuss
- Signalausleger
- Signalbruecke
- Signal\_Anordnung\_Arbeitsbuehne
- Signal\_Anordnung\_Mast
- Signal\_Anordnung\_Sonstige

- sonstige

Besonders die letzten zwei genannten Arten ermöglichen beim Prozess der Modellerstellung großen Auslegungsspielraum. Erschwerend kommt hinzu, dass der Verweis auf eine Regelzeichnung nicht verpflichtend ist, sodass es zu Instanzen der Klasse `Signal_Befestigung` kommen kann, die die Befestigungsart `Signal_Anordnung_Sonstige` und keinen Verweis auf eine zu verwendende Regelzeichnung beinhalten. Eine geometrische Position des Objektes kann aufgrund der vererbten Pflichtparameter aus der Klasse `Punkt_Objekt` bestimmt werden, sodass zumindest ein allgemeiner Körper an dieser Stelle platziert und bei Bedarf attribuiert werden kann.

Die exakte geometrische Ausbildung der Komponenten von Signalanlagen für die Planung des Planteils 1 (AP PT 1) ist scheinbar nicht von allzu hoher Bedeutung. Diese Aussage leitet sich davon ab, dass das Datenschema hier keine zwingende Befüllung des Verweises auf eine Regelzeichnung erfordert. Die Tatsache, dass für einige Instanzen hingegen dennoch bereits auf Regelzeichnungen verwiesen wird, zeigt, dass es sich um standardisierte Bauteile handelt, für die bereits in frühen Planungsphasen Aussagen über ihre geometrische Gestalt getroffen werden können.

Eine Signalbefestigung, die mit dem Typ `Signal_Anordnung_sonstige` beschrieben werden könnte, ist in [Abbildung 4.22](#) zu sehen.



**Abbildung 4.22:** Befestigung mehrerer Zusatzanzeiger an der Dachkonstruktion eines Bahnsteiges

Der Zwiespalt zwischen der optionalen Befüllung des Regelzeichnungs-Verweises und die gleichzeitige Bekundung der BIM-Fähigkeit durch den Verweis auf Regelzeichnungen steht beim Ziel der Modellerstellung im Widerspruch und führt dazu, dass nicht alle Elemente einer Gruppe (Signale, Fundamente, ...) in gleicher Detaillierung in ein BIM-Modell übersetzt werden können.

Außerdem sollte gekennzeichnet werden, welche Genauigkeit bereits in einem BIM-Modell dargestellt wird, da dies bei einigen fachspezifischen Komponenten nicht immer zweifelsfrei erkennbar ist. Der Verweis auf die zugrundeliegende Regelzeichnung kann als möglicher Ansatz verwendet werden. Eine Regelzeichnung kann mit LoG-Konzept gut bewertet und so abgeschätzt werden, für welche Anwendungsfälle diese Datengrundlage ausreichend ist. Ist kein Verweis auf eine Zeichnung an einem Element hinterlegt, so handelt es sich im erzeugten Modell um eine niedrige Genauigkeit und die gebaute Wirklichkeit kann mehr oder minder stark vom erstellten Modell abweichen - diese Elemente ein Level of Geometry von 100 auf. Sind Verweise auf Regelzeichnungen hinterlegt, so kann angenommen werden, dass das Bauteil gemäß dem maximalen LoG modelliert wurde, das aus der verwiesenen Zeichnung ableitbar ist. Wie erläutert, können aus den vorliegenden und nachmodellierten Regelzeichnungen Detaillierungen von bis zu LoG 300 erreicht werden. Um eine höhere Detaillierung zu erreichen, sollten dem PlanPro-Datenmodell weitere Parameter hinzugefügt oder genauere Regelzeichnungen bereitgestellt werden.

#### 4.8.2 Nichtgeometrische Eigenschaften

Auf semantischer Ebene stellt das PlanPro-Datenmodell eine enorme Quelle an fachplanerischen Informationen bereit, weshalb bereits in frühen Planungsphasen ein sehr detaillierte Abbildung semantischer Informationen erreicht werden kann. Welche gewerkespezifischen Parameter tatsächlich in ein BIM-Modell enthalten sein müssen, ist stark von der weiteren Verwendung des Modells abhängig und sollte - wie aus Hochbauprojekten bekannt - über Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) geregelt werden. Der technische Weg, Parameter aus einer PlanPro-Datei an ein bestimmtes Bauteil im BIM-Modell anzuhängen, konnte erfolgreich gezeigt werden. Die Erweiterung um weitere Parameter, die an ein Objekt im BIM-Modell angehängt werden sollen, bedarf lediglich dem Ausbau der Datenbank zur Kommunikation zwischen PreProcessing-Tool und Modellierungsumgebung.

Kritisch zu bewerten ist allerdings die Tatsache, dass das PlanPro-Datenmodell nur sehr wenige semantische Informationen über die bauliche Ausprägung der Anlage beinhaltet. Im Kontext des Planteils 1 (herstellerunabhängige Planung der Sicherheitsausrüstung) ist dieser Sachverhalt jedoch nachvollziehbar. Gleichzeitig bedeutet dies aber auch, dass in einem auf PlanPro begründeten BIM-Modell zum Beispiel keine exakten Informationen über Materialien hinterlegt werden können, die wiederum für Anwendungsfälle wie die modellbasierte

Mengenermittlung benötigt werden. Exemplarisch seien hier die Signalfundamente genannt, für die verschiedene Bauarten wie Ortbetonfundamente oder Fertigteile möglich sind. Soll PlanPro auch in späten Leistungsphasen zum Einsatz kommen und durch den Signallieferant um Informationen über die tatsächlich gelieferten Anlagen ergänzt werden, wäre die Erweiterung des Datenmodells um solche Informationen ein zu begrüßende Weiterentwicklung.

## Kapitel 5

# Verwendung und Analyse des erzeugten BIM-Modells

In Kapitel 4 wurde ein möglicher Workflow gezeigt, wie Informationen aus einer bestehenden Datenquelle in ein BIM-Autorenprogramm übertragen werden können und welche Schwierigkeiten dabei im Falle des PlanPro-Formates derzeit existieren. Autodesk Revit wurde dabei lediglich als Werkzeug zur Erstellung des Modells genutzt und sollte nicht als Anwendung angesehen werden, mit der zukünftig eine vollumfängliche fachliche Planung von Ausrüstungstechnik im Eisenbahnbau durchgeführt werden sollte. Daher ist es notwendig, die erzeugten Daten zur weiteren Verwendung in ein allgemeines Format zu überführen, welches andere Projektbeteiligte nutzen können und das gleichzeitig in der Lage ist, die zusätzlich generierten Informationen zu speichern.

### 5.1 Vorteile der Revit-Umgebung

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, können einige Bauteile nur in einem niedrigen Detaillierungsgrad modelliert werden, wenn keine Informationen über die geometrische Ausgestaltung (beispielsweise in Form von Regelzeichnungen) vorhanden sind. Die systematische Verwendung und die passende Benennung aller Familien ermöglicht es, die Detaillierung rasch zu erhöhen, indem die betreffenden Familien entsprechend nachbearbeitet und wieder in das Projekt geladen werden. Auch der Austausch einzelner Bauteile ist schnell realisierbar, sollte aber aufgrund des derzeit noch nicht implementierten 'Rückweges' in die entsprechende PlanPro-Datei nicht verwendet werden. Diese Aufgabe kann ebenfalls über die vorgestellte Datenbank gelöst werden, sofern diese um entsprechende Felder erweitert wird.

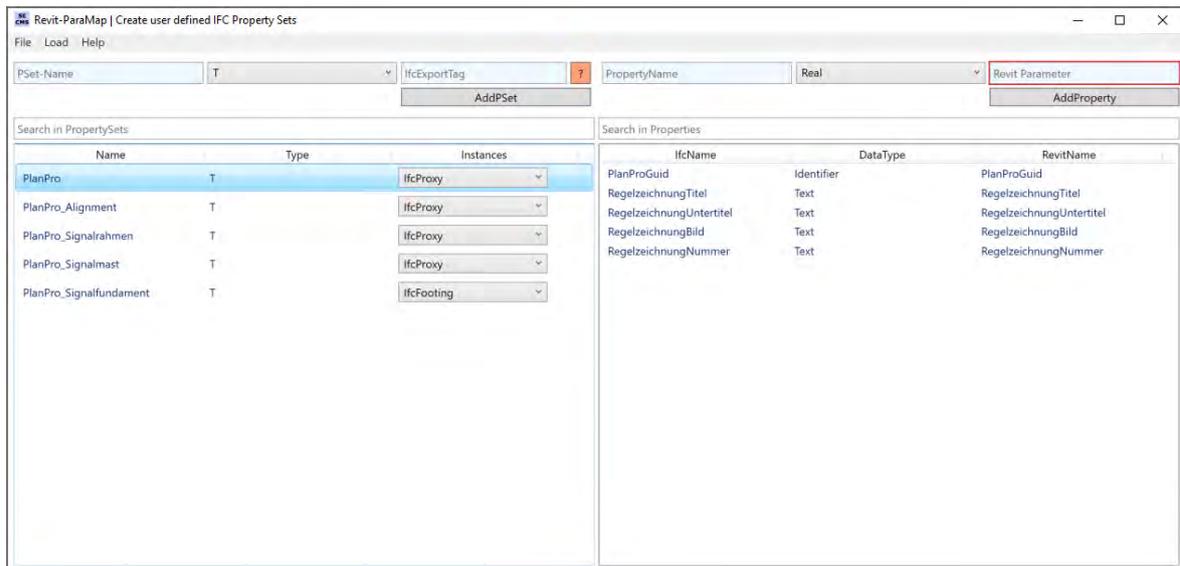
## 5.2 IFC-Export

### 5.2.1 Export-Einstellungen in Revit

Um ein in Revit erstelltes Modell in eine IFC-Datei zu exportieren, wird eine OnBoard-Funktion zur Verfügung gestellt, die vom Anwender angepasst werden kann. Um eigens erstellte Parameter eines Revit-Elementes in die IFC-Datei zu exportieren, kann mit benutzerdefinierten Eigenschaften-Sets (user defined Property Sets) gearbeitet werden. Dieses Vorgehen ermöglicht es, sehr detailliert zu steuern, welche Bauteile exportiert werden sollen und welche Parameter in welchen Parametergruppen an das jeweilige Bauteil anzuhängen sind. Weiterführende Informationen zu den Konfigurationsmöglichkeiten der IFC-Schnittstellen in Autodesk Revit sind in Veröffentlichungen von Trzeciak und Borrmann (2018) sowie Bulla (2018) zu finden.

Mithilfe des Parameters *IfcExportAs* kann definiert werden, welchen Typ ein Bauteil in der IFC-Datei annehmen soll. Da derzeit noch keine Objekttypen zur Abbildung von bahnspezifischen Komponenten im IFC-Datenmodell verfügbar sind, wird auf den Datentyp *IfcProxy* zurückgegriffen. Soll ein Bauteil nicht exportiert werden, so wird der Parameterwert auf *DontExport* gesetzt und das Bauteil nicht in die IFC-Datei übersetzt.

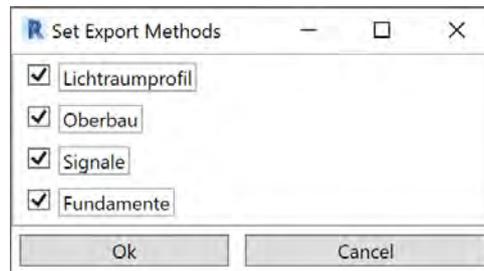
Um die aus PlanPro importierten Parameter und die zugehörigen Werte beim IFC-Export zu berücksichtigen, wird eine Konfigurationsdatei erstellt, die die Zuordnung der Revitparameter zu den in der IFC-Datei verwendeten Parametern und deren Datentypen herstellt. Da diese textbasierten Dateien einer exakten Syntax folgen müssen, existieren verschiedene Anwendungen, die den Nutzer bei der Erstellung dieser Datei unterstützen. Abbildung 5.1 zeigt ein solches Programm, welches im Rahmen des Moduls 'Building Information Modeling' vom Autor dieser Arbeit im Wintersemester 2017/18 an der Technischen Universität München entwickelt wurde.



**Abbildung 5.1:** Oberfläche zur Definition von benutzerdefinierten PropertySets

Einzelne Attribute werden in PropertySets gruppiert, die im linken Teil der Oberfläche aufgelistet sind. Die zugehörigen Attribute des ausgewählten PropertySets werden rechts angezeigt und die Übersetzung von Revit-Parameter auf IFC-Parameter getätigt. Ebenso muss der Datentyp für den IFC-Parameter definiert werden.

Da in den meisten Fällen nicht immer alle in einem Revit-Modell enthaltenen Informationen und Parameter in ein IFC-Modell exportiert werden sollen, kann das [MVD](#)-Konzept verwendet werden, um lediglich eine Teilmenge der im Revit-Modell enthaltenen Informationen in eine IFC-Datei zu exportieren. Diese definieren unter anderem, wie die Geometrie eines Bauteils exportiert wird und welche Attribute an die Geometriekörper angehängt werden. Da auch hier die Einschränkung der derzeit noch fehlenden IFC-Entitäten zur Abbildung von Eisenbahnausrüstung zum Tragen kommt, existieren auch noch keine allgemeinen [MVD](#)-Definitionen zur Weitergabe von Fachmodellen im Infrastrukturbereich. Um dennoch in der Lage zu sein, nur Elemente in ein IFC-Modell zu exportieren, die einer konkreten Planungstätigkeit zuzuordnen sind, wurde das erstellte Revit-Plugin um eine Funktion erweitert, die den Benutzer wählen lässt, welche Elemente exportiert werden. Die Auswahlmöglichkeiten sind in [Abbildung 5.2](#) dargestellt.



**Abbildung 5.2:** Auswahl der zu exportierenden Elemente in das IFC-Modell

Betrachtet man beispielsweise die Gleisachsen, kann festgehalten werden, dass diese Informationen in einem späteren Gesamtmodell von einer auf Trassenplanung spezialisierten Software geliefert werden sollten und keinen Beitrag zu einem Gesamtmodell darstellen, der explizit aus der LST-Planung hervorgehen müsste. In manchen Fällen kann der Abgleich der für die eigene Planung angenommenen Gleisachsen sinnvoll sein, dennoch ist die Einschränkung der zu exportierenden Inhalte ein wichtiges Konzept, um Verantwortlichkeiten für die bereitgestellten Inhalte klar benennen zu können. Da für das Beispielprojekt PHausen keine Trassierungsdaten vorlagen, werden aus dem erzeugten Revit-Modell drei IFC-Teilmodelle erstellt:

- Ein Modell, das nur Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik enthält
- Ein Modell, welches die Familien zur Beschreibung des Gleisoberbaus beinhaltet
- Ein Modell, in dem die modellierten Lichtraumprofile weitergegeben werden

Alle Modelle können in geeigneten IFC-Viewern anschließend wieder übereinander dargestellt werden.

Der eigentliche IFC-Export wird mit den Standard-Funktionen von Revit als in der Version IFC 2x3 Coordination View durchgeführt.

### 5.2.2 Darstellung der Teilmodelle in Solibri Model Checker

Zur gleichzeitigen Darstellung mehrerer IFC-Modelle existieren verschiedene Anwendungen. In Abbildung 5.3 wird dafür das Programm Solibri Model Checker verwendet.

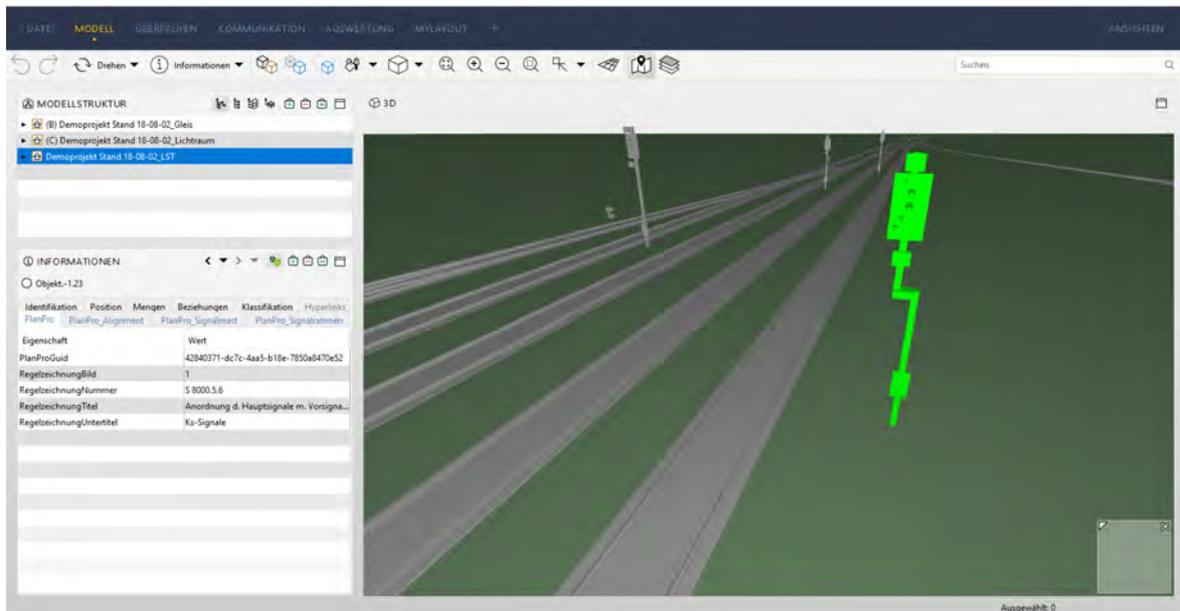


Abbildung 5.3: Darstellung der Teilmodelle in Solibri Model Checker

Im Abschnitt 'Modellstruktur' sind die geladenen Modelle zu sehen, wobei die Lichtraumprofile in der aktuellen Ansicht ausgeblendet sind. Im Reiter 'Informationen' werden alle Eigenschaften des ausgewählten Elements dargestellt. Hier sind auch die für den Export definierten PropertySets wiederzufinden (vergleiche Abbildung 5.1). Diese ermöglichen wie beschrieben die Gruppierung einzelner Parameter.

Der Einsatz von benutzerdefinierten PropertySets kann für jede Art von IFC-Entitäten verwendet werden und ist nicht auf Revit als Autorenplattform beschränkt. Auch andere Programme wie Nemetschek Allplan oder das .NET-basierte xBIM-Toolkit ermöglichen den Umgang mit eigenen Attributen, die nicht im IFC-Datenschema enthalten sind. Dennoch ist eine allgemeine Normung auf jeden Fall zu befürworten, um einheitliche Standards zu schaffen, die besonders für den Export und Import von Modellen von hoher Bedeutung sind.

### 5.3 Verwendung des Modells

Der größere Aufwand, den die Erzeugung eines BIM-Modells im Gegensatz zur Erstellung von konventionellen Planungsunterlagen wie Plänen und Tabellen erfordert, kann nur durch eine anschließende Verwendung des Modells für verschiedene Anwendungszwecke gerechtfertigt werden. Daher wurden in Tabelle 2.1 einige Anwendungsfälle benannt und dargestellt, welche Parameter im Allgemeinen ein Modell beinhalten sollte, die für diese Verwendungen notwendig erscheinen. Diese werden nun am erzeugten BIM-Modell zum Bahnhof PHausen kurz bewertet.

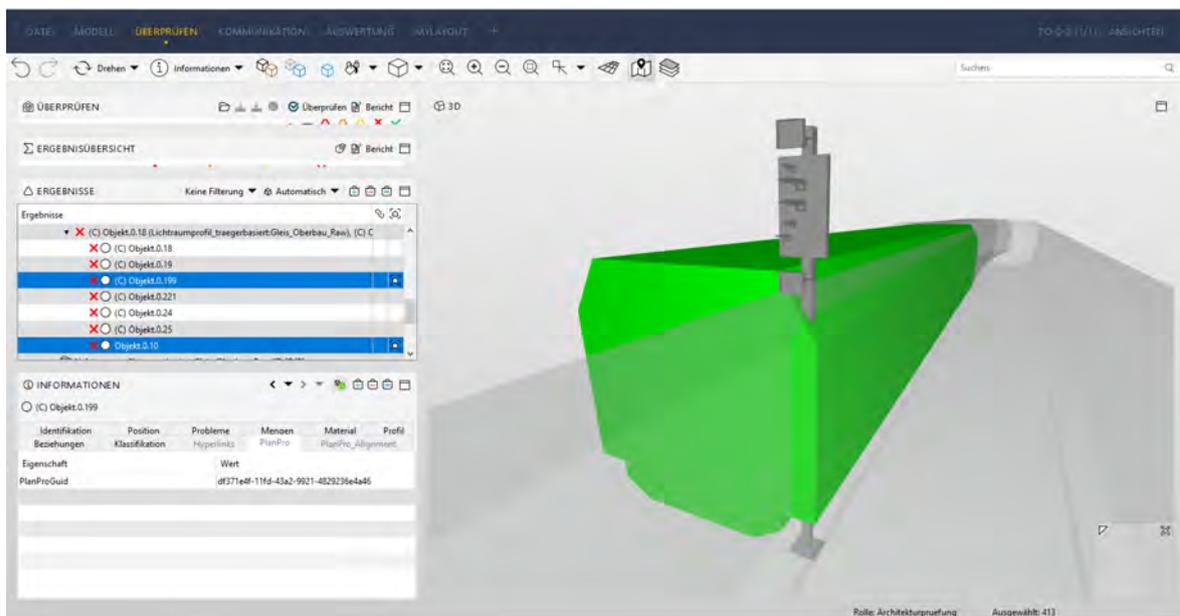
### 5.3.1 Geometrische Darstellung und Visualisierung

Wie im Kapitel 4 erläutert, ist es möglich, passende Geometriekörper auf Grundlage der referenzierten Regelzeichnung und der Berechnung der Objektkoordinaten zu platzieren. Diese Körper können je nach Regelzeichnung und den darin dargestellten Informationen unterschiedlich genau modelliert werden. Es lässt sich festhalten, dass die Ausrüstungsgegenstände in ihrem Ort und ihrer Gestalt soweit modelliert werden können, dass in einem Gesamtmodell ersichtlich wird, um welche Art von Objekt es sich handelt. Dennoch gibt es die in Abschnitt 4.8.1 benannten Einschränkungen, die die Modellerstellung erschweren.

### 5.3.2 Geometrische Kollisionsprüfung

Das erzeugte Modell kann nun einer geometrischen Kollisionsprüfung unterzogen werden. Für diese Aufgabe ist lediglich eine möglichst exakte Geometrie-Repräsentation notwendig, zusätzliche Attribute können aber für Filterfunktionen herangezogen werden, um nur bestimmte Bauteile auf Kollisionen zu prüfen.

Abbildung 5.4 zeigt eine Kollision zwischen einer Signalbefestigung und dem modellierten Lichtraumprofil. Dieser Fehler könnte auch bei der Prüfung eines Lageplans geprüft werden, da es sich um einen geraden Signalmasten handelt. Kommt es allerdings zu Kollisionen, die von den Auslegern oder Arbeitsbühnen der Signale ausgelöst werden, ist die Analyse im dreidimensionalen Raum deutlich zielführender als eine Prüfung von reinen zweidimensionalen Planunterlagen.



**Abbildung 5.4:** Erkannte Kollision zwischen modelliertem Lichtraumprofil und Signalmast in Solibri Model Checker

### 5.3.3 Fachliche Prüfung auf die Einhaltung von Regeln und Normen

Das erzeugte BIM-Modell eignet sich gut, um Planungsdaten auf Regeln zu prüfen, für die viele verschiedene Parameter berücksichtigt werden müssen. Durch die direkte Verknüpfung von geometrischen und nichtgeometrischen Informationen ist es beispielsweise möglich, schnell auf die Parameterwerte mehrerer Bauteile zuzugreifen, die sich innerhalb einem zuvor definierten Volumen befinden. Ein weiterführender Ausblick findet sich in Kapitel 6.

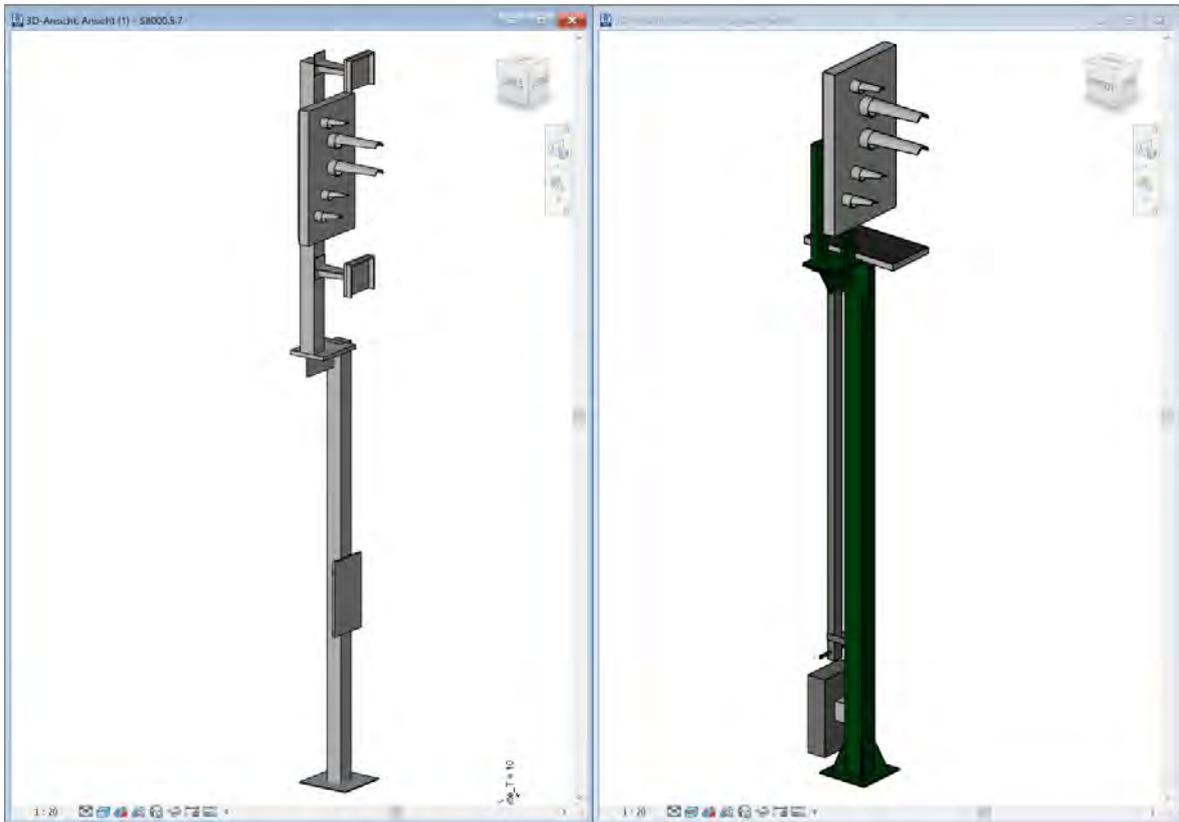
### 5.3.4 Bauablaufsimulation

PlanPro wurde darauf ausgerichtet, verschiedene Zustände im (Um-)bau einer Strecke berücksichtigen zu können. Auch diese Informationen können mit bestehenden Softwarelösungen wie DESITE MD oder Autodesk Navisworks in das erzeugte Modell eingebunden werden. Dabei können weitere Informationen im Modell hinterlegt werden, die neben der reinen Anwesenheit bestimmter Elemente in einer Phase auch die Erfassung von Ein- und Ausbauzuständen sowie Funktions- und Zugriffsmöglichkeiten von Signalanlagen ermöglicht. Somit ist eine wesentlich detailliertere Untersuchung des Fahrbetriebs während einer Bauphase möglich.

### 5.3.5 Nutzung im Betrieb

Aufgrund des ursprünglich entwickelten Einsatzzweckes als Datenformat zur Speicherung von Planungsinformationen reichen die enthaltenen Informationen in PlanPro bisher nicht aus, um ein *asBuilt*-Modell herzustellen. Hierfür wären umfangreiche weitere Informationen über die tatsächliche Ausführung und Gestaltung der einzelnen Komponenten notwendig. Das hier analysierte Modell kann aber wiederum als Grundlage für eine detailliertere Modellierung dienen, da die Erstellung eines *asBuilt*-Modells vorrangig das Hinzufügen weiterer Parameter sowie die Verfeinerung der abgebildeten Geometrie erfordern würde. Bereits ermittelte und modellierte Informationen wie die Position des Bauteils können und sollten in einem detaillierteren Modell weiter verwendet werden.

Wie eine mögliche Verfeinerung der verwendeten Objekte in ihrer geometrischen Ausprägung aussehen können, zeigt [Abbildung 5.5](#)



**Abbildung 5.5:** Mögliche Verfeinerung des Geometrikörpers einer Hauptsignalbefestigung

Auch die detailliertere Modellierung von elektrotechnischen Komponenten, die an einer Signalbefestigung zu platzieren sind, stellt einen weiteren Schritt zur Modellverfeinerung dar und eröffnet Schnittstellen zu anderen Gewerken. Hier bedarf es aber einer klaren Abstimmung und Abgrenzung, welche Elemente zu welchem Fachmodell gehören müssen und wer sie zu welchem Zeitpunkt modelliert.

## 5.4 Fazit Modellerstellung

Zahlreiche Anwendungsfälle, die aus Wünschen und Anforderungen an Hochbau-Modelle abgeleitet wurden, können zumindest in Teilen mit dem erzeugten LST-Fachmodell abgedeckt werden. Dennoch sind weitere Anwendungen denkbar, die die planerischen Tätigkeiten in Zukunft unterstützen und verändern werden und dem Ingenieur so mehr Zeit für die Bearbeitung komplexer Fragestellungen lassen, die nicht automatisiert gelöst werden können. Gerade das Zusammenführen verschiedener Teilmodelle zu einem Gesamtmodell kann mögliche Probleme in der Bauausführung bereits in frühen Planungsphasen aufzeigen. Wie in Abschnitt 5.3.2 gezeigt, funktionieren manche Prüfmechanismen auch mit Modellen, deren Bauteile lediglich ein niedriges LoD aufweisen.

## Kapitel 6

# Ausblick Regeltestprüfungen

Die Erstellung eines BIM-Modells lohnt sich vor allem dann, wenn anschließend planerische Aufgaben erleichtert werden, die von einer Datenbasis profitieren, die alle relevanten und bereits existierenden Informationen enthält. Genau diese Funktion erfüllen BIM-Modelle. Zu den möglichen Anwendungsfällen, die von der hohen Datendichte profitieren, zählt unter anderem die teilautomatisierte Überprüfung der erstellten Daten, deren händische Prüfung häufig fehleranfällig und arbeitsintensiv ist (Preidel und Borrmann, 2015).

Dieses Kapitel beschreibt zuerst die Möglichkeiten, die die Auszeichnungssprache *Schematron* zur Validierung von XML-Dateien bietet und zur Plausibilitätsüberprüfung von PlanPro-Dateien verwendet wird. Anschließend wird auf Möglichkeiten eingegangen, wie BIM-Modelle überprüft werden können. Außerdem werden zwei Beispiele aus der Leit- und Sicherungstechnik erörtert, die auf Grundlage eines BIM-Modells geprüft werden können und deren Vorschriften nur mit großem Aufwand in textbasierten Datenmodellen untersuchbar sind.

### 6.1 Validierung von XML-Dateien mithilfe von Schematron

PlanPro-Dateien können mithilfe von *Schematron* auf die fachliche Richtigkeit überprüft werden.

#### 6.1.1 Struktur einer Schematron-Datei

Im Gegensatz zu anderen Sprachen überprüft *Schematron* lediglich Werte, die sich in einem definierten Umfeld eines XML-Elements befinden. Somit ist es möglich, bestimmte Elemente auf verschiedenste Weise anzusprechen. Beispiele hierfür wären der Aufruf aller Kind-elemente oder alle Elemente eines bestimmten Namespaces.

Eine *Schematron*-Datei muss lediglich sechs Elemente zwingend enthalten, um für einen Validierungsprozess verwendbar zu sein. Diese sind im nachfolgenden Codebeispiel ersichtlich (Beispiel von Obasanjo (2004)).

**Code 6.1:** Struktur einer Schematron-Datei

```
1 <schema
2   xmlns="http://www.ascc.net/xml/schematron"
3   schemaVersion="1.01" >
4
5   <title>A Schema for Books</title>
6
7   <ns
8     prefix="bk"
9     uri="http://www.example.com/books"
10  />
11
12  <pattern id="authorTests">
13    <rule context="bk:book">
14      <assert test="count(bk:author) != 0">
15        A book must have at least one author
16      </assert>
17    </rule>
18  </pattern>
19
20  <pattern id="onLoanTests">
21    <rule context="bk:book">
22      <report test="@on-loan and not(@return-date)">
23        Every book that is on loan must have a return date
24      </report>
25    </rule>
26  </pattern>
27
28 </schema>
```

Das `<schema>`-Element ist das Wurzelement jeder *Schematron*-Datei. Als Attribute werden die zu verwendende Version sowie der XML-Namespaces definiert.

`<title>` definiert den Titel der Regel. Dabei handelt es sich um ein optionales Element.

Mit den `<ns>`-Elementen können beliebig viele Namespaces definiert werden, die in der zu überprüfenden XML-Datei auftreten. Außerdem werden Präfixe festgelegt, die in der Formulierung der eigentlichen Prüfregeln zum Einsatz kommen.

`<pattern>`-Elemente dienen als Container für ein oder mehrere `<rule>`-Elemente, in denen die eigentlichen Regeln und die Folgen bei Einhaltung oder Verletzung festgelegt werden. Die in `<assert>` formulierten Folgen treten ein, wenn die Bedingung im `test`-Attribut verletzt wird. Das `<report>`-Element kann verwendet werden, um eine Rückgabe bei erfolgreichem Test zu formulieren.

Die Abfrage der betroffenen Elemente in der XML-Datei erfolgt unter Verwendung der XML Path Language ([XPath](#)), mit der eine einfache Navigation innerhalb der Baumstruktur einer XML-Datei möglich ist (Schematron, 2018).

Zur Validierung von PlanPro-Projektdateien wird eine abweichende Struktur verwendet. Folgender Code zeigt verkürztes Beispiel:

**Code 6.2:** Struktur einer Schematron-Datei zur Prüfung einer PlanPro-Projektdatei

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <iso:pattern
3   xmlns:iso="http://purl.oclc.org/dsdl/schematron"
4   xmlns:planpro="http://www.plan-pro.org/regeln/struktur"
5   fpi="EB1EC8F9-3899-4C85-90A6-B76BEA99FBDB"
6   see="FAHRSTRASSE.ID312"
7   abstract="true"
8   id="ID312"
9   planpro:arbeitspaket="FAHRSTRASSE"
10  planpro:version="1.8.0.1" >
11
12  <iso:title>Begrenzung des Fahrwegs einer Zugstrasse (Ziel)</iso:title>
13  <iso:p>
14    <planpro:description>
15      Pruefung, ob ein Fahrweg an den vorgesehenen Signalen endet [...].
16    </planpro:description>
17
18    <planpro:test>
19      <planpro:success>
20        Die Zugstrasse endet an einem Hauptsignal [...].
21      </planpro:success>
22
23      <planpro:error>
24        Die Zugstrasse endet nicht an einem Hauptsignal [...].
25      </planpro:error>
26    </planpro:test>
27
28    <planpro:output>ID_Fstr_Zug_Rangier</planpro:output>
29  </iso:p>
30
31  <iso:rule role="error" context="Fstr_Zug_Rangier[ancestor::$Bereich][Fstr_Zug]">
32    <iso:let name="ID_Fstr_Fahrweg" value="ID_Fstr_Fahrweg/Wert"/>
33    <iso:let name="ID_Ziel" value="../Fstr_Fahrweg[Identitaet/Wert = $ID_Fstr_Fahrweg
34      ]/ID_Ziel/Wert"/>
35
36    <!-- gefundene Signalarten -->
37    <iso:let name="Signal_Real_Art" value="../Signal[Identitaet/Wert = $ID_Ziel]/
38      Signal_Real/Signal_Real_Aktiv_Schirm/Signal_Art/Wert"/>
39    <iso:let name="Signal_Fiktiv_Funktion" value="../Signal[Identitaet/Wert = $ID_Ziel
40      ]/Signal_Fiktiv/Fiktives_Signal_Funktion/Wert"/>
41
42    <!-- gesuchte Signalarten -->
43    <iso:let name="Signal_Real_Art_Ziel" value="('Hauptsignal ', [...])"/>
44    <iso:let name="Signal_Fiktiv_Funktion_Ziel" value="('Zug_Ziel_Strecke ',
45      'Zug_Ziel_ohne_Signal ', 'Zug_Ziel_Awanst ', 'FAP_Ziel ', 'sonstige ')/>
46
47    <iso:assert
48      diagnostics="guid typ aufbau s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7"
49      test="($Signal_Real_Art = $Signal_Real_Art_Ziel or $Signal_Fiktiv_Funktion =
50        $Signal_Fiktiv_Funktion_Ziel)">
51      Die Zugstrasse endet nicht an einem Hauptsignal [...].
52    </iso:assert>
53  </iso:rule>
54 </iso:pattern>

```

### 6.1.2 Anwendung einer Schematron-Datei auf ein XML-Dokument

Um ein XML-Dokument auf die in einer *Schematron*-Datei formulierten Regeln zu überprüfen, wird eine so genannte *Schematron*-Implementierung benötigt. Diese kann unter anderem durch die Verwendung von *XSL*-Transformationen realisiert werden. Extensible Stylesheet Language Transformationen (*XSLT*) können zur Umwandlung von XML-Strukturen genutzt werden. Mögliche Operationen sind beispielsweise das Sortieren der Elemente oder das Filtern und Gruppieren von Elementen mit bestimmten Attributen (W3Cschools, 2018).

Eine oder mehrere dieser Template-Dateien werden wiederum in eine gesamte Extensible Stylesheet Language (*XSL*)-Template-Datei übersetzt und auf die zu prüfende XML-Datei angewendet. Als Ergebnis erhält man die in den `<assert>`- und `<report>`-Elementen definierten Meldungen, die anschließend als Ausgabe in verschiedene Ausgabeformate aufbereitet werden können. Dazu zählen zum Beispiel XML, HTML oder andere textbasierte Formate (Lehnert et al., 2018).

### 6.1.3 Grenzen Schematron

Mithilfe von Methoden, die XML-basierende Dokumente überprüfen, können vielfältige Regeltests entwickelt und Daten überprüft werden, die durch den Vergleich von Parameterwerten mit den Vorgaben lösbar sind. Auch einfache mathematische Abfragen sind möglich, sofern die gesuchte Eigenschaft direkt im zu prüfenden XML-Dokument vorhanden ist.

Allerdings ist dieses Verfahren zur Plausibilitätsprüfung auch beschränkt, beispielhaft seien folgende zwei Szenarien genannt:

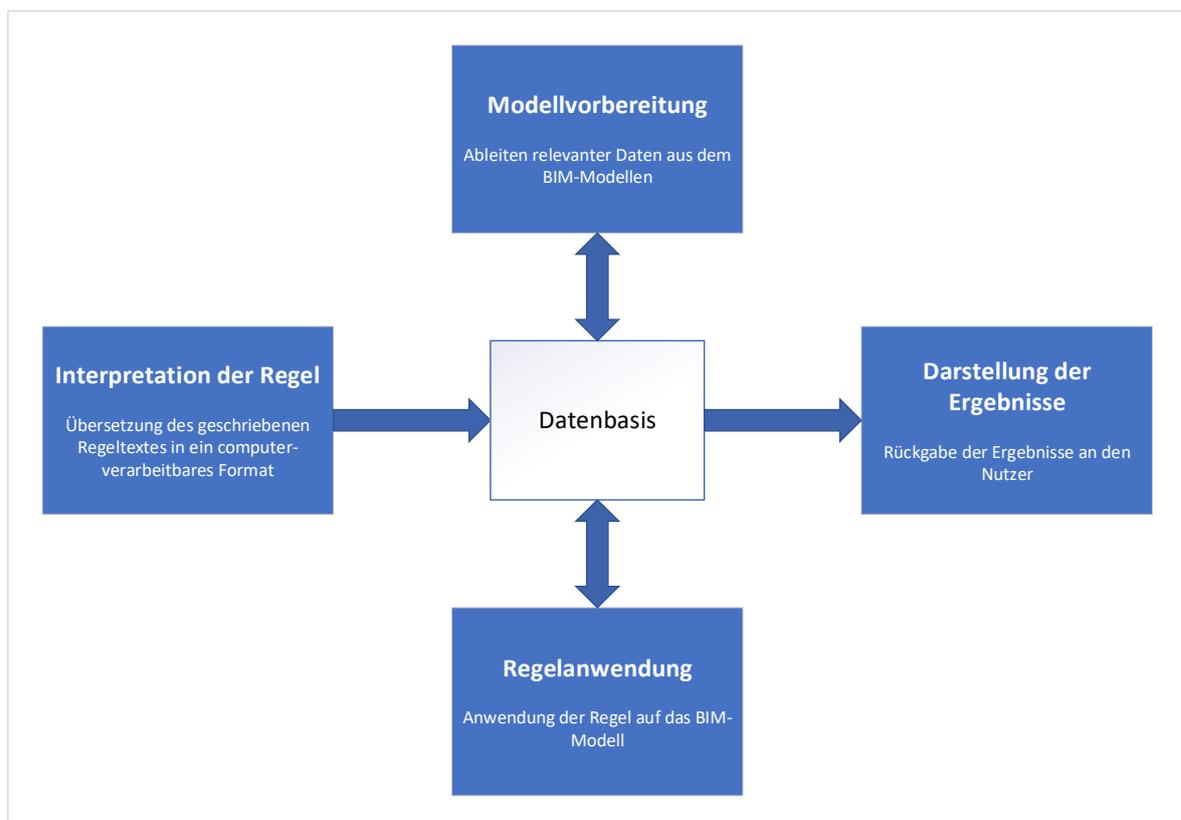
- Untersuchung von geometrischen Eigenschaften, die nicht direkt als Eigenschaft im XML-Dokument auffindbar sind
- Prüfung von Regeln, die Informationen verschiedener Gewerke erfordern

## 6.2 Regelüberprüfungen in einem BIM-Infrastrukturmodell

Die Prüfung gewinnt erzeugter Daten in einem BIM-basierten Planungsprozess zunehmend an Bedeutung. Daraus haben sich neben einigen Softwareprodukten auch herstellerneutrale Ansätze entwickelt, die für die Überprüfung von BIM-Modellen verwendet werden können.

### 6.2.1 Grundlagen

Das Themengebiet der automatisierten Überprüfung von BIM-Modellen wurde in den letzten Jahren von verschiedenen Interessengruppen beleuchtet, daher finden sich bereits einige Veröffentlichungen zu diesen Aufgabenstellungen. Dabei wurde auch eine allgemeine Strategie entwickelt, die beschreibt, welche einzelnen Schritte eine Modellüberprüfung beinhalten sollte. Diese allgemeine Struktur zur Modellprüfung wird in Abbildung 6.1 gezeigt und basiert auf den Ausführungen in Borrmann et al. (2015) Preidel (2014) und Eastman et al. (2008).



**Abbildung 6.1:** Allgemeine Struktur zur Modellüberprüfung

Generell existieren zwischen den dargestellten Prozessen diverse Abhängigkeiten. So hängen die aus einem Modell extrahierten Daten maßgeblich von den Anforderungen ab, die sich aus der Übersetzung des menschenlesbaren Textes in ein Dateiformat ergeben. Gleichzeitig muss die gewünschte Darstellung der Ergebnisse auch schon bei der Implementierung des Algorithmus zur Regelanwendung berücksichtigt werden, der aber wiederum von den zur Verfügung gestellten Input-Daten aus Regelübersetzung und Modellvorbereitung abhängig ist.

Folgende Abschnitte geben einen ersten Überblick, wie diese Struktur zur Prüfung von BIM-Infrastrukturmodellen verwendet werden kann.

### **Automatisierte Übersetzung von Regeltexten**

Dieser Bereich befasst sich mit der Übersetzung des geschriebenen, menschenlesbaren Fließtextes in ein computerverarbeitbares Format. Ob und inwieweit Methoden zur automatisierten Erfassung von Normen und Richtlinien für die Infrastrukturplanung eingesetzt werden können, bedarf weiterer Analysen. Es zeigte sich bereits bei ersten Voruntersuchungen, dass die Formulierung einiger Richtlinien, die für einzelne Gewerke der Bahnausrüstungstechnik in Deutschland verwendet werden müssen, sehr komplex formuliert sind und zahlreiche Ausnahmen aufweisen. Auch der Zugang und die Nutzung dieser Normen ist an vielen Stellen durch die DB eingeschränkt.

Eine weitere Fragestellung ergibt sich aus der Art, wie Richtlinien im Infrastrukturbau formuliert sind. Häufig unterscheiden sich die Regeltexte im Wortlaut deutlich voneinander, obwohl sich zumindest einzelne Berechnungsschritte in verschiedenen formulierten Regeln decken. Dieser Sachverhalt könnte die Einführung einer objektorientierten Übersetzung teilweise erschweren und bedarf möglicherweise zahlreiche manuelle Anpassungen, wenn Regeltexte automatisiert für Regeltests in BIM-Umgebungen übersetzt werden sollen.

### **Modellvorbereitung**

Wie an einigen Stellen bereits erläutert wurde, ist der Aufwand der Implementierung von Regeln zur Prüfung eines BIM-Modells nur dann wirklich sinnvoll, wenn die Bearbeitung durch eine zentrale Datenbasis (das BIM-Modell) deutlich vereinfacht wird oder die Fragestellung nicht allein durch bisher genutzte Planungsunterlagen beantwortet werden kann. Dabei sind Fragestellungen, die mehrere Gewerke und Fachrichtungen betreffen, von erhöhtem Interesse, da hier großes Optimierungspotenzial in allen Planungsphasen zu vermuten ist.

### **Regelanwendung**

Zur konkreten Implementierung einer Regel müssen im Vergleich zu bereits vorhandenen Techniken die veränderten Randbedingungen und Anforderungen an ein BIM-Infrastrukturmodell berücksichtigt werden. Dennoch wird angenommen, dass einige Ansätze, die für die Modellprüfung von Gebäudemodellen entwickelt wurden, auch für Infrastrukturvorhaben einsetzbar sind.

### **Darstellung der Ergebnisse**

Die Darstellung der Prüfungsergebnisse kann stark variieren und hängt maßgeblich von der geprüften Regel und dem Zeitpunkt sowie dem Anwender ab. Während ein abgabefähiges

Modell vorrangig einen Wahr/Falsch-Wert ausgeben sollte, um darzustellen, ob das Modell den gestellten Anforderungen entspricht, ist es für einen Planer vorrangig von Interesse, wie eine fehlerhafte Situation verändert werden muss, um anschließend den Vorgaben der Richtlinien zu entsprechen. Beide Ansätze beruhen schlussendlich auf der gleichen Regel, dennoch erfordern sie unterschiedliche Denkweisen in der Implementierung der Regelanwendung und Ergebnisausgabe.

Die Unterstützung im Planungsprozess durch permanente Prüfungen des erstellten Modells kann als Aufgabe für Softwarehersteller angesehen werden - die abschließende Prüfung eines bereits erzeugten Modells ist hingegen eine Fragestellung, die besonders bei der Übergabe von Daten zwischen verschiedenen Projektbeteiligten an Bedeutung gewinnt.

### Zwischenfazit Struktur zur Modellüberprüfung

Es erscheint realistisch, einige bereits existierende Ideen aus der Modellierung von Hochbauprojekten auch für Infrastrukturvorhaben einzusetzen. Dennoch sind bereits jetzt diverse Einschränkungen zu erkennen, die weiterer Untersuchungen bedürfen. Die gegebene Übersicht ist daher vorrangig informativ zu verstehen.

#### 6.2.2 Überprüfung von BIM-Modellen mit mvdXML

Wie erläutert existieren bereits einige Konzepte zur Überprüfung von BIM-Modellen, die heute in marktetablierten Programmen zum Einsatz kommen. Dazu zählt zum Beispiel die Verwendung von Modellansichten (MVDs), um eine Teilmenge an Daten in einem BIM-Modell zu beschreiben und exportierte IFC-Modelle auf die Einhaltung zuvor definierter Kriterien zu überprüfen (Chipman et al., 2016).

Die zugrundeliegende Idee von mvdXML ist mit dem Konzept der Validierungssprache Schematron vergleichbar. Der Syntax unterscheidet sich allerdings in den zu prüfenden Dokumenten: Während PlanPro ein echtes XML-Schema darstellt, ist IFC in der Regel eine Datei im STEP-Format (möglich ist aber auch IFCXML).

Um exportierte IFC-Modelle auf die geforderten MVD-Anforderungen hin zu überprüfen, können Implementierungen eingesetzt werden, wie sie von Strien (2015) beschrieben wurden.

#### 6.2.3 Fortgeschrittene Regelprüfungen im dreidimensionalen Raum

Die wirkliche Stärke von Regelüberprüfungen in BIM-Modellen kommt zum Tragen, wenn logische Zusammenhänge nur mit großem Aufwand in textbasierten Speicherformaten beschrieben werden können und der Einsatz der zentralen Datenbasis in Form eines BIM-Modells

entscheidende Vorteile bringt. Beispielsweise existieren Regeln, bei denen verschiedene Komponenten berücksichtigt werden müssen, die in einer bestimmten geometrischen Beziehung stehen (zum Beispiel alle Elemente eines Raumes). Gleichzeitig müssen aber auch Zusammenhänge zwischen diesen Objekten betrachtet werden, die sich aus semantischen Parametern dieser Bauteile ergeben.

Um diesen komplexen Anforderungen begegnen zu können, existieren mittlerweile verschiedene Ansätze, die von Preidel und Borrman (2016) beschrieben wurden. Ein wichtiger Aspekt ist die Nachvollziehbarkeit, wie Modellüberprüfungen ablaufen. Auf der einen Seite existieren so genannte Blackbox-Lösungen, bei denen die einzelnen Verarbeitungsprozesse dem Anwender verborgen bleiben und die Anwendung nach der Definition von Input-Parametern eine vordefinierte Ausgabe liefert. White-Box-Systeme ermöglichen es dem Nutzer hingegen, einzelne Berechnungsschritte nachzuvollziehen und eigene Regeln zu formulieren. Für letzteres empfehlen sich visuelle Programmieroberflächen, wie sie beispielsweise in der Revit-Erweiterung Dynamo verwendet werden (Borrman et al., 2015) (Preidel, 2014).

Die folgenden Beispiele weichen von der in Abbildung 6.1 etwas ab, da angenommen wird, dass die Übersetzung der Regeltexte vorerst manuell bewältigt werden muss. Stattdessen wird das Hauptaugenmerk auf die Informationen gelegt, die aus verschiedenen Modellen und deren Objekten abgegriffen werden müssen.

### 6.3 Beispiel: Erweiterte geometrische Kollisionsprüfung

In Abschnitt 5.3.2 wurde die Kollision eines Signalelements mit dem freizuhaltenden Lichtraum beschrieben (siehe dazu auch Abbildung 5.4). Betrachtet man die Definition des Lichtraumprofils genauer (siehe Abbildung 4.12), so ist die Annahme der Profilarart GC für eine neu geplante Strecke zwar richtig, allerdings müssen laut Richtlinie 800.0130 untergeordnete Bereiche unterschieden werden, die im modellierten Lichtraumprofil noch nicht vollkommen berücksichtigt wurden:

- **Bereich A:** Zwischen Streckengleisen und durchgehenden Hauptgleisen darf dieser Raum für die Streckenausrüstung genutzt werden.
- **Bereich B:** Raum für bauliche Anlagen wie Bahnsteige, Rampen, Rangiereinrichtungen, Signalanlagen. Die jeweiligen Einbaumaße sind in den entsprechenden Modulen angegeben.

Die Einschränkung der Elemente, die sich in Bereich A befinden dürfen, führt dazu, dass die rein geometrische Kollisionskontrolle um eine semantische Ebene ergänzt werden muss, um eine fachlich korrekte Prüfung automatisiert durchführen zu können. Ein möglicher Ansatz zur fortgeschritteneren Kollisionsprüfung könnte wie in Abbildung 6.2 dargestellt aussehen.

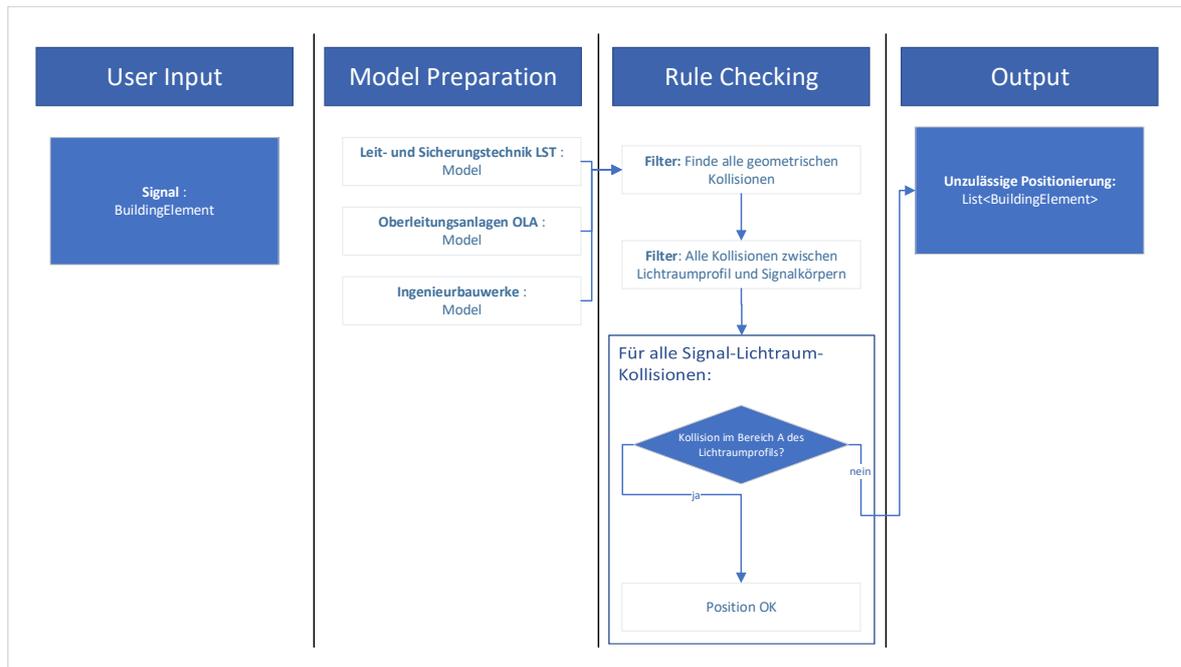


Abbildung 6.2: Erweiterte Kollisionsprüfung Signal - Lichtraum

Zur Gewichtung von Kollisionen existieren bereits Ansätze, die zukünftig für die Anwendung im Infrastrukturbereich adaptiert werden können (NBS, 2018). Dazu können auch Konzepte verwendet werden, die bereits im BIM Collaboration Format (BCF) verfügbar sind und eine Gewichtung von Themen und Problemen ermöglichen.

## 6.4 Beispiel: Untersuchung von Sichtweiten im BIM-Modell

Die Untersuchung von Sichtweiten auf Signale wird von vielen Experten als ein Anwendungsfall angesehen, für die die Entwicklung eines BIM-Modells Vorteile gegenüber der Prüfung im zweidimensionalen Lageplan bringen kann. Erste Ansätze zu einer EDV-gestützten Prüfung von Sichtweiten auf Signale wurden bereits von Appelt et al. (2004) dokumentiert.

Die Einhaltung von Mindestsichtweiten von Hauptsignalen wird in der Richtlinie 819.0202 der Deutschen Bahn AG wie folgt definiert:

*„Bei Hauptsignalen muss im Bereich der Mindestsichtbarkeit das vollständige Signalbild immer sichtbar sein. Es darf nicht ein anderes Signalbild dadurch vorgetäuscht werden, dass einzelne Lichter durch Brücken, Gebäude, Bäume oder dergleichen zeitweise verdeckt werden. Kurzzeitige, auch wiederholte Sichteinschränkungen, durch einzelne Masten oder Stützpunkte der Oberleitung oder andere stationäre Anlagen, die eine vergleichbare Einschränkung wie die Masten oder Stützpunkte der*

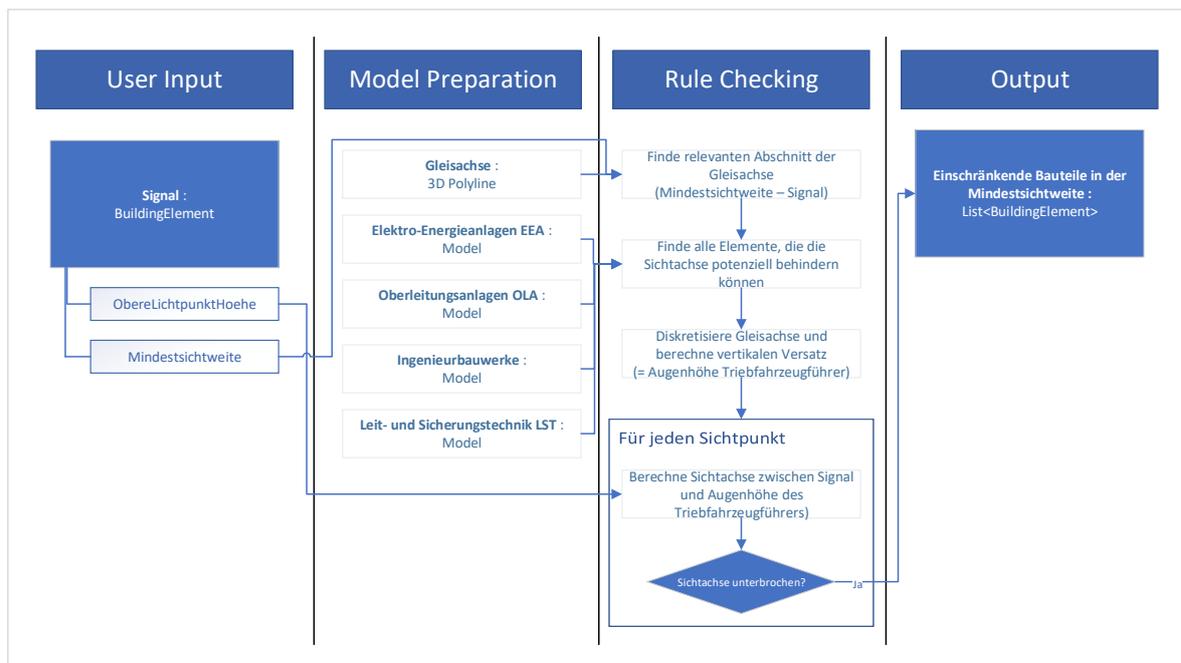
*Oberleitung hervorrufen, gelten nicht als unzulässige Unterbrechung.“ (Deutsche Bahn AG, 1998)*

Abbildung 6.3 zeigt den Sachverhalt in einer dreidimensionalen Modellumgebung.



**Abbildung 6.3:** Überprüfung der Mindestsichtweite eines Signals, die durch Vegetation eingeschränkt wird

Eine mögliches Vorgehen, wie diese Regel in einem BIM-Modell überprüft werden könnte, ist in Abbildung 6.4 dargestellt. Diese greift den Gedanken einer gewerkeübergreifenden Prüfung auf, da Hindernisse in der Blickachse aus verschiedensten Teilplanungen stammen können und erst in einer gemeinsamen Datenumgebung erkannt werden.



**Abbildung 6.4:** Ansatz zur modellbasierten Überprüfung von Mindestsichtweiten

Auch hier ist eine anschließende Klassifizierung der gefundenen Kollisionen zweckmäßig, da kurzzeitige Sichteinschränkungen beispielsweise mit Oberleitungsmasten auftreten können, die als Ausnahme möglich und zulässig sind. Das Beispiel zeigt, dass die vollautomatisierte Prüfung solcher Regeln technisch umsetzbar erscheint, aber der Umgang mit zulässigen Ausnahmen zu einer komplexen Fragestellung werden kann.

Möchte man die gleiche Regel in einem rein textbasierten Datenmodell prüfen, so wäre die Definition unzähliger Beziehungen zwischen einzelnen Elementen notwendig. Allein die Erstellung einer Filterfunktion, die alle potenziellen Elemente im Umfeld des zu untersuchenden Signals bereitstellt, kann als umfangreiche Aufgabe angesehen werden. Hier kommt die Verknüpfung zwischen geometrischen und semantischen Informationen in einem BIM-Modell voll zum Tragen und sollte in Zukunft weiter fokussiert werden.

## Kapitel 7

# Gesamtfazit und Ausblick

In diesem Kapitel werden die erarbeiteten Konzepte und Strukturen nochmals aufgegriffen und bewertet, welche Ansätze in Zukunft weiter verfolgt werden sollten und an welchen Stellen weitere Untersuchungen nötig erscheinen.

### 7.1 Bewertung der BIM-Fähigkeit des PlanPro-Datenmodells

#### 7.1.1 Funktionen und Perspektiven

Die erläuterten Sachverhalte zeigen, dass PlanPro als Datenformat einen Beitrag in einem gewerkeübergreifenden BIM-Prozess darstellen kann. Sieht man PlanPro im Kontext einer der in 2.2 genannten Definitionen für BIM, die eine Geometrierepräsentation nicht zwingend voraussetzen, so kann dieses Datenformat als BIM-Format bezeichnet werden, das dem Open-BIM-Konzept zuzuordnen ist. Die Erstellung eines LST-Fachmodells, welches ausschließlich auf Grundlage der in einer PlanPro-Datei gespeicherten Informationen erstellt wurde, kann für gewisse Anwendungsfälle ausreichen.

Dennoch haben die Untersuchungen auch gezeigt, dass es keine 1:1 Schnittstelle zwischen einer PlanPro-Projektdatei und einem BIM-Modell mit hoher geometrischer Detaillierung in der derzeit vorliegenden Form gibt, da es für viele Elemente zahlreiche mögliche Bauformen und Sonderlösungen geben kann, die über den Verweis auf eine Regelzeichnung nur in niedriger geometrischer Detaillierung abgebildet werden. Generell wäre der konsequente Verweis auf Regelzeichnungen wünschenswert, um die geometrische Modellierung zu vereinfachen. Ein möglicher weiterer Entwicklungsschritt in der Entwicklung einer PlanPro-IFC-Schnittstelle könnte die Bereitstellung einer Bauteilbibliothek sein, die die Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik in einer Darstellung beinhaltet, die unabhängig vom späteren Signalbau-Lieferant ist. Mithilfe vordefinierter Bauteilfamilien könnte auch eine Transferschnittstelle

von einem IFC-Modell hin zu einer PlanPro-Datei realisiert werden, wenn die Bauteile im BIM-Modell ausreichend parametrisiert sind.

Da die Lage der Bauteile über die Beschreibung der Gleisachsen erfolgt, sollten neben den in der Beispieldatei PHausen verwendeten Trassierungselemente 'Gerade' und 'Kreisbogen' auch entsprechende Übergangsbögen modelliert werden, um die Positionen der Elemente noch genauer bestimmen zu können.

Möchte man ein BIM-Modell erstellen, welches einen Beitrag zu einem koordinierten Gesamtmodell darstellen soll, ist es nicht zwangsläufig notwendig, von Anfang an in einer virtuellen dreidimensionalen Umgebung zu planen. Kann der Planungsprozess wie bisher effizient in einer zweidimensionalen Darstellung gelöst werden, sollte das Augenmerk eher auf die Erarbeitung von Schnittstellen gelegt werden, die die Nutzung der erzeugten Daten in anderen Anwendungen ermöglichen. Auch wenn noch keine vollständige Abbildung von Infrastruktur-Gegenständen im IFC-Schema gibt, so kann angenommen werden, dass IFC als herstellernerutrales Austauschformat in Zukunft eine wichtige Rolle in Planungsprozessen von Infrastrukturvorhaben spielen wird.

PlanPro wurde für den Zweck der durchgängigen Planung von Leit- und Sicherheitstechnik konzipiert und sollte für diesen Zweck auch weiterentwickelt werden. Wie auch bei den Exportschnittstellen ist eine weitere Annäherung an bestehende Konzepte des Building Information Modelings sicherlich zielführend und wünschenswert und bietet große Vorteile, wenn andere Gewerke Informationen in einer dynamischeren Weise zur Verfügung stellen können.

### 7.1.2 Limitierungen

Betrachtet man das erstellte Modell im Kontext der vorgestellten komplexen Regeltests, so zeigt sich, dass das erstellte Modell für diese Anforderungen noch nicht ausreicht. Dies ist allerdings nicht alleine als Schwachstelle des PlanPro-Schemas zu bewerten, vielmehr sollten in Zukunft Schnittstellen entwickelt werden, die beispielsweise die Gleistrassierung in höherer Qualität in eine PlanPro-Datei transportieren können oder fachfremde Informationen als eigenes Modell bereitstellen. Die erwähnten Stärken eines BIM-Modells kommen erst dann zum Tragen, wenn ein gewerkeübergreifende Informationsaustausch erfolgen kann und verschiedene Teilmodell in ein BIM-Gesamtmodell zusammengeführt werden.

## 7.2 Grenzen der verwendeten Anwendungen

Rückblickend hat es sich als geschickten Schritt erwiesen, vor der eigentlichen Modellerstellung eine Datenaufbereitung im PreProcessing-Tool durchzuführen. Dies hatte einerseits den positiven Effekt, die in PlanPro gespeicherten Informationen zuerst einmal unabhängig jeg-

licher BIM-Modellierungswerkzeuge analysieren zu können. Auch die Aufbereitung auf ein minimales Set an Daten, die zur Platzierung eines Gegenstandes im Revit-Modell definiert wurden, hat sich als positiv erwiesen, da das Tool dadurch auch für andere Input-Daten erweitert werden kann. Das Konzept, wie Revit verschiedene Arten von Parametern verarbeitet und die optionale Befüllung von Attributen ermöglicht, unterstützt diese Herangehensweise.

Die Ausführung der implementierten Funktionen in Revit funktioniert zwar teilweise langsam, dennoch sind die genutzten Programme zur Modellerstellung (Revit) und zur Modellanalyse (Solibri Model Checker) flüssig zu bedienen und einzelne Anpassungen in akzeptabler Zeit durchführbar. Da beide Programme nicht auf die Verarbeitung von Projektdateien mit großen topografischen Ausdehnungen ausgelegt sind, ist diese Tatsache positiv zu erwähnen.

Die Verwendung von Unterfamilien, deren Gestalt über eigene Exemplarparameter gesteuert werden können, hat sich als zielführend erwiesen. Eine mögliche Verbesserung wäre noch zu erreichen, wenn Unter-Familien auch als eigenes Bauteil in die IFC-Datei exportiert werden könnten.

Eine Stelle, bei der tatsächlich eine Funktionsgrenze von Revit erreicht wurde, ist die Modellierung der kreisförmigen Gleisachsen. Übersteigt der gewünschte Radius 3000 Feet (also etwa 900 Meter) kann diese Transaktion nicht mehr ausgeführt werden. Es bleibt abzuwarten, ob in naher Zukunft ein Softwareprodukt auf dem Markt erhältlich ist, mit dem einerseits die geographischen Belange von Infrastrukturprojekten abgedeckt sind und gleichzeitig die hochdetaillierte Modellierung einzelner Ausrüstungsgegenstände mit der gezeigten Flexibilität im Umgang mit Bauteilfamilien und deren Parametern möglich sein wird. Bis dahin wird die Adaption bestehender Programme unausweichlich sein und zunehmend zur Modellerstellung eingesetzt werden.

## 7.3 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass das Building Information Modeling (BIM) nicht auf ein einzelnes Programm oder Datenformat beschränkt werden kann. Dennoch sind diverse Tendenzen und wiederkehrende Konzepte erkennbar, die in Hochbauprojekten entwickelt wurden und nun für den Einsatz im Infrastrukturbereich angepasst werden. Zahlreiche Ideen können direkt übernommen werden, an anderen Stellen sind die Belange und Anforderungen im Hochbau und in der Infrastrukturplanung zu unterschiedlich und erfordern weitere Untersuchungen sowie alternative Ansätze.

Gesamtheitlich bleibt aber zu beachten, dass sich diverse Grundsätze, die bei jeder ingenieurmäßigen Planung zum Tragen kommen, nicht durch veränderte Planungsansätze verändern lassen. Dieser Sachverhalt sollte bei jeder Diskussion über den Einsatz von BIM-Methoden immer wieder berücksichtigt werden. Denn am Ende steht immer das Ziel nach

wirtschaftlichem, ressourceneffizientem und sicherem Bauen und Betrieb - unabhängig, ob ein Prozess mit einer BIM-Methode bewältigt wird oder andere bewährte Werkzeuge zum Einsatz kommen.

## Anhang A

# Digitaler Anhang

Bei der Abgabe werden dieser Arbeit in digitaler Form beigefügt:

- Das erstellte IFC-Modell sowie das zugehörige Revit-Projekt
- Der PlanPro-Datensatz in Version 1.8.0, auf Grundlage dessen die Modellerstellung durchgeführt wurde
- Der Quellcode der entwickelten Anwendungen
- Die vorliegende schriftliche Ausarbeitung im PDF-Format
- Renderings und Graphiken in hoher Auflösung

# Literaturverzeichnis

- APPELT, V., ECKERT, S., ERDMANN, B. und LIEBERENZ, K. (2004). Berechnung von Signalsichtweiten. In: *Der Eisenbahningenieur*, 55:28–35. URL <http://gepro-dresden.org/tlfiles/inhalte/Publikationen/vor2009/2004-03EI{Lieberenz-Appelt-Eckert-Erdmann}BerechnungvonSignalsichtweiten.pdf>.
- APTA (2004). Rail Transit Signals Operating Rules. Technischer Bericht. URL <http://www.apta.com/resources/standards/Documents/APTA-RT-OP-S-006-03.pdf>.
- AZHAR, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. In: *Leadership and Management in Engineering*, 241–252. URL [https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127).
- BLEIDIESSEL, J. (2013). Einfuehrung Komponenten XSD in 1.6.0. Technischer Bericht.
- BORRMANN, A. (2018). BMVI BIM Roadmap: Current Progress & Challenges. Technischer Bericht, Technische Universität München.
- BORRMANN, A., KÖNIG, M., KOCH, C. und BEETZ, J. (2015). *Building Information Modeling*. URL <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05606-340>.
- BRAUN, M. und OBERMEYER PLANEN+BERATEN GMBH (2017). Gebäude vs. Infrastruktur? BIM in der Gesamtplanung. Technischer Bericht, Obermeyer Planen und Bauen.
- BUDER, J. (2017). *Neues Planungsverfahren für Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik auf Basis durchgängiger elektronischer Datenhaltung*. Dissertation, Technische Universität Dresden. URL <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/21965/Dissertation{Buder}Neues{Planungsverfahren}LST.pdf>.
- BUDER, J. und MASCHEK, U. (2017). Fachtagung „ Durchgängige Datenhaltung in der LST-Planung “ Mit Innovationen Maßstäbe setzen Ihr Spezialist für moderne. In: . URL [www.eurailpress.de/archiv/lst-planung/](http://www.eurailpress.de/archiv/lst-planung/).
- BUILDINGSMART (2018a). buildingSMART for Infrastructure. URL <http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/projects> (Letzter Zugriff am: 2018-04-30).

- BUILDINGSMART (2018b). IFC Overview summary. URL <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview> (Letzter Zugriff am: 2018-04-30).
- BUILDINGSMART (2018c). IFC Technology. URL <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/ifc-technology> (Letzter Zugriff am: 2018-04-30).
- BULLA, J. (2018). *Definition der IFC-Modellinhalte von Infrastrukturbauwerken mithilfe von Autodesk Revit*. Bachelorarbeit, Technische Universität München.
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (2018). Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA®). URL [https://www.bast.de/BASt\\_{\\_}2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-okstra.html](https://www.bast.de/BASt_{_}2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-okstra.html) (Letzter Zugriff am: 2018-05-16).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2015). Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Technischer Bericht. URL <http://link.springer.com/10.1007/s13222-018-0278-9{%}0Ahttps://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bim-umsetzung-stufenplan-erster-fortschrittsbe.html>.
- CARMONA, J. und IRWIN, K. (2007). BIM: Who, What, How and Why. URL <https://www.facilitiesnet.com/software/article.aspx?id=7546> (Letzter Zugriff am: 2018-08-22).
- CEAPOINT (2018). DESITE MD / MD PRO – CEAPOINT GMBH. URL <https://www.ceapoint.com/desite-md-md-pro/> (Letzter Zugriff am: 2018-08-20).
- CHIPMAN, T., LIEBICH, T. und WEISE, M. (2016). mvdXML. Technischer Bericht. URL <http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/mvdxml/mvdxml-1.1/final/mvdxml-1-1-documentation>.
- DB ENGINEERING & CONSULTING AG (2018). BIM-Pilotprojekt 2-gleisiger Ausbau Homburger Damm Stand der Planung Projektbeschreibung. Technischer Bericht.
- DB NETZ AG (2018). BIM bei der DB — Deutsche Bahn AG. URL [https://www.deutschebahn.com/de/bahnwelt/bauen\\_{\\_}bahn/bim/BIM-1186016](https://www.deutschebahn.com/de/bahnwelt/bauen_{_}bahn/bim/BIM-1186016) (Letzter Zugriff am: 2018-04-21).
- DEUTSCHE BAHN AG (1998). LST-Anlagen planen; Signale für Zug- und Rangierfahrten - Hauptsignale. Technischer Bericht.
- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. und LISTON, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Wiley Publishing.
- EHRBAR, H. und DB NETZ AG (2016). BIM BEI DER DEUTSCHEN BAHN Herausforderungen für den digitalen Infrastrukturbau über- und untertags. Technischer Bericht. URL [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/Ehrbar\\_{\\_}BIM\\_{\\_}bei\\_{\\_}der\\_{\\_}Deutschen\\_{\\_}Bahn\\_{\\_}](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/Ehrbar_{_}BIM_{_}bei_{_}der_{_}Deutschen_{_}Bahn_{_})

- Herausforderungen{ }fur{ }den{ }digitalisierten{ }Infrastrukturbau{ }uber- { }und{ } untertag{ }Version{ }2.pdf.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT (2004). Richtlinie 2004/18/EG über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge. ).
- HAUSKNECHT, K. und LIEBICH, T. (2017). BIM-Kompendium: Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Fraunhofer IRB Verlag. URL <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-leitfaden-deu.pdf?{ }{ }blob=publicationFile>.
- IVV GMBH (2018). ProSig® bei der Deutschen Bahn AG. URL <http://www.ivv-gmbh.de/de/prosigr/referenzen/prosigr-bei-der-deutschen-bahn-ag.html> (Letzter Zugriff am: 2018-08-01).
- KUNO, B. (2012). *Planung einer Randwegkonstruktion für Haupt- und Nebenbahnen der DB aus Betonfertigteilen in L-Form*. Bachelorarbeit, Fachhochschule Erfurt.
- LEHNERT, M., JAEKEL, B., WUNSCH, S. und KLAUS, C. (2018). Automatisierte semantische Validierung von bahnspezifischen Daten – Teil 1. In: *Der Eisenbahningenieur*, 16–20.
- LEHRSTUHL FÜR COMPUTERGESTÜTZTE MODELLIERUNG UND SIMULATION - TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (2018). RIMcomb - Forschungsvorhaben. URL <https://www.cms.bgu.tum.de/de/forschung/projekte/rimcomb> (Letzter Zugriff am: 2018-07-17).
- LIEBICH, T., BORRMANN, A., ELIXMANN, R., ESCHENBRUCH, K., HAUSKNECHT, K., HÄUSSLER, M., HOCHMUTH, M. und KÖNIG, M. (2018). Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau. Technischer Bericht. URL <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-zwischenbericht-forschungsbegleitung.html>.
- MARKIČ, Š., DONAUBAUER, A. und BORRMANN, A. (2018). Enabling Geodetic Coordinate Reference Systems in Building Information Modeling for Infrastructure. In: *Proceeding of the 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Tampere, Finland*.
- MASCHEK, U. (2009). Einflüsse der Sicherungstechnik auf die Gleisplangestaltung. Technischer Bericht, Technische Universität Dresden.
- MASCHEK, U., KLAUS, C., GERKE, C., UMINSKI, V. und GIRKE, K.-J. (2012). PlanPro - Durchgängige elektronische Datenhaltung im ESTW-Planungsprozess. In: *Signal + Draht*, 22–26.
- MINI, F. (2016). *Entwicklung eines LoD Konzepts für digitale Bauwerksmodelle von Brücken und dessen Implementierung*. Masterarbeit, Technische Universität München.

- NBS (2018). Clash detection in BIM. URL <https://www.thenbs.com/knowledge/clash-detection-in-bim> (Letzter Zugriff am: 2018-08-23).
- NUTTENS, T., BREUCK, V. D., CATTOOR, R., DECOCK, K. und HEMERYCK, I. (2018). Using bim models for the design of large rail infrastructure projects: Key factors for a successful implementation. In: *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(1):73–83.
- OBASANJO, D. (2004). Improving XML Document Validation with Schematron. Technischer Bericht. URL [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa468554\(d=printer\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa468554(d=printer).aspx).
- PREIDEL, C. (2014). Entwicklung einer Methode zur automatisierten Konformitätsüberprüfung auf Basis einer graphischen Sprache und Building Information Modeling.
- PREIDEL, C. und BORRMANN, A. (2015). Automated Code Compliance Checking Based on a Visual Language and Building Information Modeling.
- PREIDEL, C. und BORRMANN, A. (2016). Towards Code Compliance Checking on the Basis of a Visual Programming Language. In: *ITcon*, 21(July).
- RAILTOPOMODEL (2018). Home - RailTopoModel. URL <http://www.railtopomodel.org/en/> (Letzter Zugriff am: 2018-07-17).
- ROTARD, M. C. (2005). *Standardisierte Auszeichnungssprachen der Computergraphik für interaktive Systeme*. Dissertation. URL [https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/2579/1/Rotard\\_{\\_}Dissertation.pdf](https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/2579/1/Rotard_{_}Dissertation.pdf).
- SCHEIDT&BACHMANN GMBH (2018). Betriebs- und Stellwerksimulation BEST zur praxisnahen Ausbildung. Technischer Bericht, Mönchengladbach. URL [https://www.scheidt-bachmann.de/fileadmin/downloads/de/systeme-fuer-signaltechnik/broschueren/BEST/Betriebs-\\_{\\_}und\\_{\\_}Stellwerksimulation.pdf](https://www.scheidt-bachmann.de/fileadmin/downloads/de/systeme-fuer-signaltechnik/broschueren/BEST/Betriebs-_{_}und_{_}Stellwerksimulation.pdf).
- SCHEMATRON (2018). schematron.com. URL <http://schematron.com/> (Letzter Zugriff am: 2018-07-23).
- SEE, R., KARLSHOEJ, J. und DAVIS, D. (2012). An Integrated Process for Delivering IFC Based Data Exchange. Technischer Bericht. URL <http://iug.buildingsmart.org/idms/>.
- STRIEN, E. V. (2015). MVD Checker Guide. Technischer Bericht. URL <https://github.com/emienvanstrien/MVDCheckerGuide/blob/master/MVDCheckerGuide.pdf>.
- TRZECIAK, M. und BORRMANN, A. (2018). Technical Report: Model Exchange between Revit and Allplan using IFC: a Case Study for a Bridge Model. Technischer Bericht. URL [https://www.cms.bgu.tum.de/publications/reports/2018\\_{\\_}ModelExchangeBetweenRevitAndAllplanUsingIFC\\_{\\_}BIM4INFRA.pdf](https://www.cms.bgu.tum.de/publications/reports/2018_{_}ModelExchangeBetweenRevitAndAllplanUsingIFC_{_}BIM4INFRA.pdf).

- UMINSKI, V. (2014). Intelligente Planung von Bahnanlagen mit ProSig. URL <https://www.vdi.de/fileadmin/vdi{ }de/redakteur/bvs/bv{ }braunschweig{ }bilder/AK{ }Bahntechnik/{ }02{ }{ }Effizienzsteigerung{ }bei{ }der{ }Bahn/{ }V01{ }{ }VDI{ }AKBahn{ }Abstract{ }Praesentation{ }ProSig{ }PlanPro.pdf> (Letzter Zugriff am: 2018-06-13).
- UMINSKI, V., SCHLEMMER, J. und BECK, S. (2016). Sicher, nicht auf Sicht. Technischer Bericht. URL <http://www.familie-uminski.de/app/download/12765944/acm{ }2016-06{ }Artikel{ }ProSig.pdf>.
- W3CSCHOOLS (2018). XSLT Introduction. URL <https://www.w3schools.com/xml/xsl{ }intro.asp> (Letzter Zugriff am: 2018-08-20).
- WEIHGOLD, M. und DEUTSCHE BAHN AG (2018). Ab jetzt 4.0: Digitale Stellwerke sind die Zukunft im Bahnbetrieb. Technischer Bericht, Deutsche Bahn AG. URL <https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/3137706/5d76cb8d7e5dec8b22c2bdca0c8c1d93/Themendienst-Annaberg-Buchholz-data.pdf>.
- WENZEL, B. und PERCHTOLD, S. (2015). Planung von ETCS – Neue Aspekte und Erfahrungen am Beispiel VDE 8. In: *Der Eisenbahningenieur*, 36–39. URL <https://www.eurailpress.de/fileadmin/user{ }upload/PDF/EI{ }2015{ }03.pdf>.
- WENZEL, B., WOLF, A. und UMINSKI, V. (2015). Eine durchgehende Werkzeugkette für Messung und Planung von ETCS. In: *Der Eisenbahningenieur*, 101:70–73.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BEIM BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2014). Auswahl und Abwicklung von Großprojekten. Technischer Bericht.
- WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (2018). XML Essentials - W3C. URL <https://www.w3.org/standards/xml/core> (Letzter Zugriff am: 2018-05-02).
- WUNSCH, S. und JAEKEL, B. (2017). Modellprinzipien des RailTopoModel. In: *Der Eisenbahningenieur*, 18–23.
- ZUKUNFTBAU (2014). BIM-Leitfaden für Deutschland. Technischer Bericht. URL <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-leitfaden-deu.pdf?{ }blob=publicationFile>.