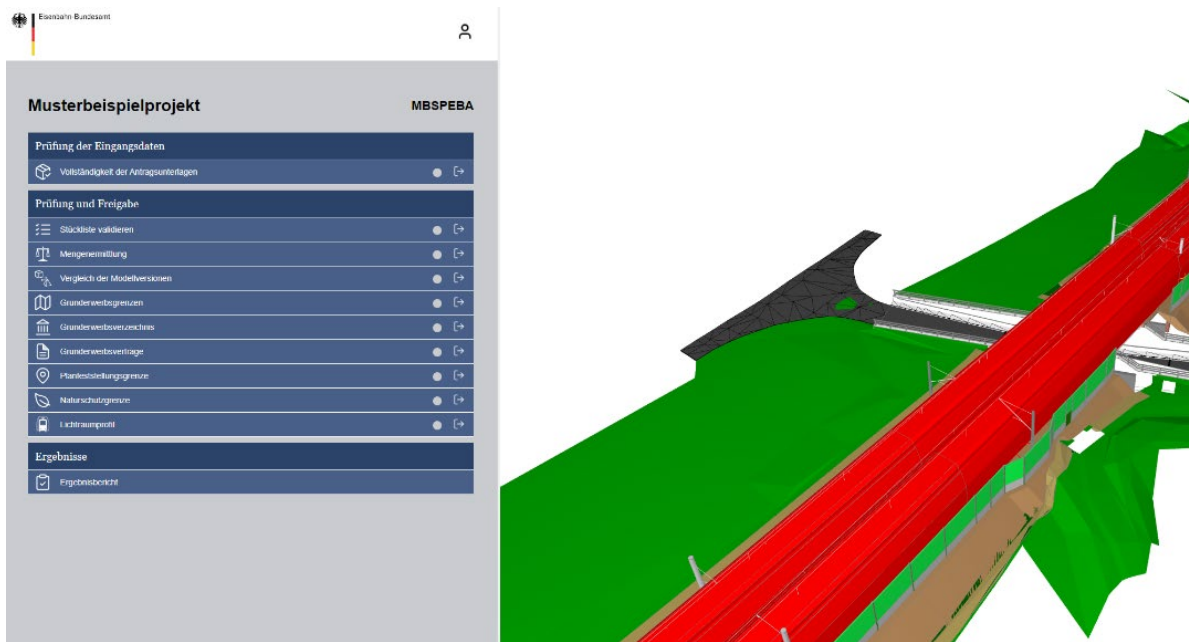




Berichte
des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 52 (2024)

Identifikation und Bewertung von BIM-Prüfroutinen für das EBA



Berichte des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung, Nr. 52 (2024)
Projektnummer 2021-02-D-1217

Identifikation und Bewertung von BIM-Prüfroutinen für das EBA

von

Dr. Andreas Bach, Tariq Al-Wesabi, Antonia Langner
Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft, Düsseldorf

Prof. Dr. André Borrmann, Dr. Simon Vilgertshofer, Sebastian Esser
TU München, Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation, München

Im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

Impressum

HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10
01219 Dresden

www.dzsf.bund.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Grafenberger Allee 293
40237 Düsseldorf

REDAKTION

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
Markus Reinhardt, Fachbereich Digitalisierung und Technik

PUBLIKATION ALS PDF

www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte

ISSN 2629-7973

Dresden, Juni 2024

DOI: [10.48755/dzsf.240005.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.240005.01)



This work is openly licensed via CC BY 4.0.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis | 7 |
| Kurzbeschreibung | 9 |
| Abstract | 10 |
| 1 Einleitung | 11 |
| 1.1 Problemstellung..... | 12 |
| 1.2 Gesamtziel des Projektes..... | 12 |
| 1.3 Taxometrie und verwendete Begriffe | 13 |
| 2 Stand der Technik | 14 |
| 2.1 Nutzung von BIM beim EBA | 14 |
| 2.2 BIM-Modell und Anwendungsfälle..... | 17 |
| 2.3 AG-Informationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplan (BAP)..... | 19 |
| 2.4 Semantisches-Objekt-Modell der DB (SOM)..... | 20 |
| 2.5 Datenformate zum modellbasierten Austausch..... | 21 |
| 2.6 Übergabe der Fachmodelle | 26 |
| 2.7 Abbildung von Regeln und Richtlinien | 27 |
| 2.7.1 Entwicklung | 27 |
| 2.7.2 Unterscheidung der Prüfverfahren..... | 28 |
| 2.7.3 Formate für Prüfregeln – IDM, MVD und IDS | 29 |
| 2.7.4 Programme zur Modellprüfung | 31 |
| 2.7.5 Software-Pakete zur Einbettung in eigene Applikationen | 32 |
| 2.8 Beispiele für modellbasierte Genehmigungsverfahren | 33 |
| 2.9 Zwischenfazit..... | 34 |
| 3 Identifikation geeigneter Prüfroutinen | 36 |
| 3.1 Vorgehensweise | 36 |
| 3.2 Ergebnisse der Umfrage..... | 37 |
| 3.3 Zusammenfassung des Workshops..... | 40 |
| 3.4 Identifizierte Prüfroutinen | 41 |
| 3.5 Dokumentation der Prüfroutinen | 43 |
| 4 Bewertungsverfahren zur Umsetzbarkeit | 44 |
| 4.1 Aufstellung der Bewertungskriterien..... | 44 |
| 4.1.1 Übersetzung der regulatorischen Anforderungen..... | 45 |
| 4.1.2 Aufbereitung der Eingangsdaten | 46 |
| 4.1.3 Durchführung der Überprüfung..... | 47 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.4 | Aufbereitung der Ergebnisse..... | 49 |
| 4.2 | Ableitung von Aufwänden und Nutzen..... | 50 |
| 4.3 | Anwendung der Bewertungskriterien auf die identifizierten Prüfroutinen..... | 50 |
| 4.4 | Auswahl der Prüfroutinen für die prototypische Untersuchung..... | 54 |
| 4.5 | Zwischenfazit..... | 56 |
| 5 | Prototypische Umsetzung | 57 |
| 5.1 | Programmtechnische Umsetzung | 58 |
| 5.2 | Dokumentation der Prüfroutinen..... | 61 |
| 5.3 | Demonstrator | 63 |
| 5.3.1 | Koordinationsmodell und Informationscontainer..... | 64 |
| 5.3.2 | Dateinamenskonvention..... | 66 |
| 5.4 | Ergebnis und Kommunikation..... | 67 |
| 5.4.1 | Prüfroutine 1: Vollständigkeit der Antragsunterlagen | 68 |
| 5.4.2 | Prüfroutine 2: Stückliste Validieren | 69 |
| 5.4.3 | Prüfroutine 3: Mengenermittlung | 70 |
| 5.4.4 | Prüfroutine 4: Versionsvergleich..... | 71 |
| 5.4.5 | Prüfroutine 5: Grunderwerbsgrenzen..... | 73 |
| 5.4.6 | Prüfroutine 6: Grunderwerbsverzeichnis | 74 |
| 5.4.7 | Prüfroutine 7: Zustimmungserklärungen | 75 |
| 5.4.8 | Prüfroutine 8: Planfeststellungsgrenze..... | 77 |
| 5.4.9 | Prüfroutine 9: Schutzgebietsgrenze..... | 78 |
| 5.4.10 | Prüfroutine 10: Lichtraumprofil..... | 80 |
| 6 | Handlungsempfehlungen | 82 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 84 |
| 8 | Abbildungsverzeichnis | 87 |
| 9 | Tabellenverzeichnis..... | 88 |
| 10 | Quellenverzeichnis | 89 |
| 11 | Anhänge | 91 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|---|
| ADE | Application Domain Extension |
| AEC | Architecture, Engineering, Construction |
| AG | Auftraggeber |
| AIA | Auftraggeber Informationsanforderungen |
| AN | Auftragnehmer |
| AP | Arbeitspaket |
| API | Application Programming Interface |
| AVP | Antrags- und Verwendungsprüfung |
| BAP | BIM-Abwicklungsplan |
| BCF | BIM Collaboration Format |
| BHO | Bundshaushaltsordnung |
| BIM | Building Information Modelling |
| BKompV | Bundeskompensationsverordnung |
| BMVI | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| BPMN | Business Process Model and Notation |
| BSCW | Basic Support for Cooperative Work |
| BSDD | buildingSMART Data Dictionary |
| bSI | buildingSMART International |
| BUV | Bedarfsplanumsetzungsvereinbarung |
| CityGML | City Geography Markup Language |
| CMS | Computergestützte Modellierung und Simulation |
| CORENET | Construction Real Estate Networks |
| CSS | Cascading Style Sheets |
| DB | Deutsche Bahn |
| DBN | Deutsche Bahn Netz |
| DGM | Digitales Geländemodell |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DWG | Abkürzung für „Drawing“, ein Dateiformat zum Speichern von 2D- und 3D-Daten |
| DXF | Drawing Exchange Format |
| DZSF | Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung |
| EBA | Eisenbahn-Bundesamt |
| EIGV | Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung |
| ESTW | Elektronisches Stellwerk |
| EÜ | Eisenbahnüberführung |
| GAEB | Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen |
| GIS | Geografisches Informationssystem |
| HOAI | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure |

| | |
|---------|--|
| HTML | Hyper Text Markup Language |
| IBG | Inbetriebnahmegenehmigung |
| ICDD | Information Container for Linked Document Delivery |
| IDM | Information Delivery Manual |
| IDS | Information Delivery Specification |
| IFC | Industry Foundation Classes |
| IT | Informationstechnologie |
| JPG | Joint Photographic Experts Group |
| KIB | Konstruktiver Ingenieurbau |
| LOIN | Level of Information Need |
| LPH | Leistungsphase |
| LST | Leit- und Sicherungstechnik |
| LV | Leistungsverzeichnis |
| MBSPEBA | Musterbeispiel Projekt EBA |
| MVD | Model View Definition |
| OGC | Open GeoSpatial Consortium |
| OLA | Oberleitungsanlagen |
| OWL | Web Ontology Language |
| PDF | Portable Document Format |
| RIL | Richtlinien |
| RUB | Ruhr Universität Bochum |
| SOM | Senantisches Objektmodell |
| SWG | Standards Working Group |
| UI | User Interface |
| UVP | Umweltverträglichkeitsprüfung |
| VA | Verkehrsanlage |
| VN | Verwendungsnachweis |
| XML | Extensible Markup Language |

Kurzbeschreibung

Der vorliegende Bericht trägt den Stand der Technik zu Prüfroutinen und modellbasierten Genehmigungsprozessen zusammen. Aufbauend auf der Recherche werden Prüfroutinen identifiziert und bewertet, welche in einem zukünftigen Prüf- und Genehmigungsprozess beim EBA Anwendung finden können.

Die Prüfroutinen wurden innerhalb eines Workshops gemeinsam mit den Mitarbeitenden des EBA erarbeitet und abschließend bewertet. Zur Demonstration der Anwendbarkeit wurden zehn Prüfroutinen mit dem höchsten Nutzen, bei zeitgleich niedrigem Aufwand entwickelt. Die Prüfroutinen wurden anhand eines Musterbeispiels verifiziert und angewandt. Das Musterbeispiel basiert auf realen Daten eines BIM-Projekts. Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeiten von modellbasierten Prüfroutinen auf und belegen insbesondere die einfache Auswertung der Modelldaten zur Verifizierung und Prüfung von Planungsergebnissen. Die Prüfroutinen wurden in Steckbriefen dokumentiert.

Abstract

This report compiles the state of the art on model testing routines and model-based approval processes. Based on a collaborative workshop routine were identified and evaluated which can be applied in a future approval process at the EBA. To demonstrate the applicability, ten test routines with the highest benefit and at the same time comparable low effort were further investigated. Several test routines were developed and applied using actual data from BIM projects. The results show the chances of model-based code compliance checking and, in particular, the simple evaluation of model data for the verification and testing of planning results. The test routines were finally documented in fact sheets.

1 Einleitung

Im Rahmen der Digitalisierung der Wertschöpfungskette im Baubereich wird ein flächendeckender Einsatz von Building Information Modelling (BIM) als Methode für das Planen, Bauen und Betreiben der Infrastruktur in Deutschland angestrebt (DB AG, 2022). Vorteile der Methode sind unter anderem eine höhere Transparenz, Planungssicherheit, Effizienzsteigerung und eine höherwertige Informationsübertragung durch das Arbeiten mit digitalen Modellen und deren Informationen. Vorbereitet wurde dieses Thema im damaligen Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur durch den Stufenplan Digitales Planen und Bauen im Jahr 2015. Ziel war es, Building Information Modeling schrittweise im Verkehrsbereich einzuführen.

Mit der Methode des BIM bestehen neuartige Möglichkeiten, planerische Informationen in einem digitalen Bauwerksmodell abzubilden und zwischen mehreren Projektbeteiligten auszutauschen. Durch die BIM-Methode ergeben sich viel tiefgreifendere Möglichkeiten zur Computerunterstützung bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken als bisher, da Bauwerksinformationen nicht in Zeichnungen abgelegt, sondern in Form eines umfassenden digitalen Bauwerksmodells erstellt, vorgehalten und weitergegeben werden. Die Koordination der Planung, die Anbindung von Simulationen, die Steuerung des Bauablaufs und die Übergabe von Bauwerksinformationen an den Betreiber kann dadurch deutlich verbessert werden.

Ziel ist es daher, eine digitale modellgestützte Arbeitsweise über den gesamten Lebenszyklus der Bauwerksmodelle – von der Planung über die Ausführung bis zum Betrieb – zu etablieren und einzusetzen. Die DB AG hat im Rahmen ihrer BIM-Strategie Handlungsfelder und einen Umsetzungsplan beschrieben. Innerhalb der Phase 3 wurde der Genehmigungs- und Freigabeprozess über das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) als Entwicklungsziel für die digitale Transformation des Unternehmens benannt (DB 2019). Dieses Ziel wird nun aufgegriffen, um in Zukunft auf einen Einsatz von aus dem Modell abgeleiteten Plänen größtmöglich zu verzichten und die digital höherwertigen Modelle und deren Informationen zur Bereitstellung von Informationen und der Effizienzsteigerung bei Antrags- und Genehmigungsprozessen zu nutzen.

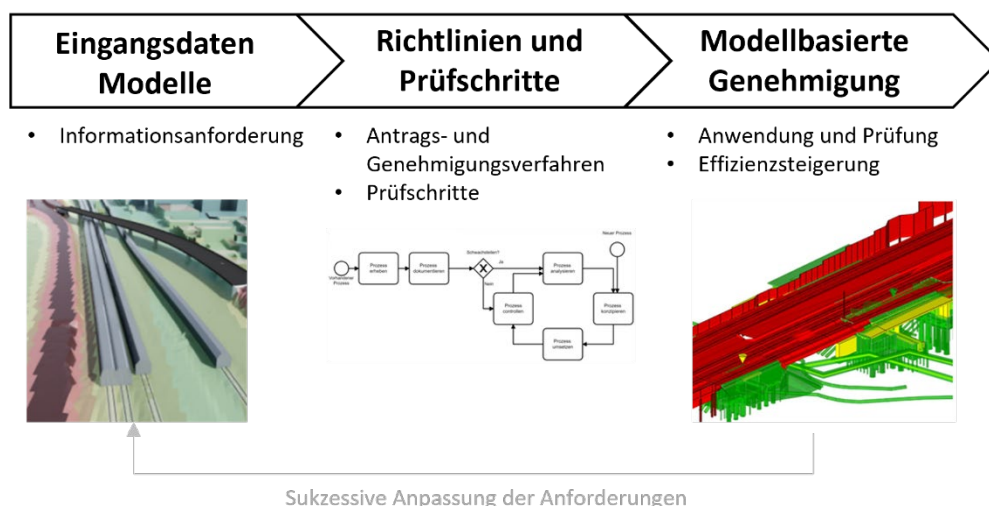


Abbildung 1: Übergeordnete Zusammenhänge und Zielsetzungen im Projekt

Hierfür ist es von zentraler Bedeutung, die Prüfschritte und den Prüfumfang dezidiert auszuarbeiten und diese hinsichtlich deren Automatisierbarkeit und Anwendbarkeit in Bezug auf eine modellbasierte Arbeitsweise zu bewerten. Hierbei ist es denkbar, dass gewisse Prüfschritte, die z. B. im Wesentlichen die semantischen Informationen der Modelle betrachten, in einem großen Umfang automatisiert werden

können. Andere Prüfschritte, welche geometrische Informationen von verschiedenen Modellen miteinander in Bezug setzen oder die Modelle als Grundlage für weitere Ableitungen sehen, müssen differenziert betrachtet und hinsichtlich deren Automatisierbarkeit bewertet werden.

1.1 Problemstellung

Die automatisierte Modellprüfung digitaler Bauwerksmodelle hinsichtlich geltender Normen und Richtlinien wurde im Kontext der Einführung von BIM bereits in einer Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten untersucht. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten kommen heute beispielsweise in verschiedenen kommerziellen Softwareprodukten zum Einsatz. Der Fokus liegt in diesen Produkten zwar häufig auf dem Einsatz in Hochbauprojekten, es sind aber auch zunehmend Anwendungen im Bereich von Infrastrukturprojekten zu beobachten.

Zur Durchführung von Modellprüfungen ist es stets notwendig, ein klares Verständnis für die Inhalte der zu prüfenden BIM-Modelle zu entwickeln und den planerischen Einheiten vorzugeben, in welcher Form planerische Informationen in den zu liefernden Modellen abzubilden sind. Gleichzeitig bedarf es einer dedizierten Auseinandersetzung, wie und in welchem Umfang die Inhalte von Richtlinien und Normen computerinterpretierbar abgebildet werden sollen. Wenn mithilfe beider Komponenten die Prüfung der Modelldaten durchgeführt wurde, stellt sich abschließend die Frage, wie die Prüfergebnisse interpretiert werden und mit welchen Mitteln die Ergebnisse den Antragstellern zugänglich gemacht werden sollen. Eine Fehlermeldung wie "Hier steht ein Fehler! Bitte sorgen Sie dafür, dass in den nächsten Versionen nicht auf externe Literaturverzeichnisse zugegriffen werden muss." kann diesen Zusammenhang illustrieren.

Die dargestellte Methode zur Modellprüfung ist grundsätzlich generisch und bedarf weiterer dedizierter Überlegungen, wenn sie für einen spezifischen BIM-Anwendungsfall zum Einsatz kommt. So unterscheidet sich beispielsweise die notwendige Detaillierung der Modelle je nach Leistungsphase erheblich. Gleichzeitig müssen die BIM-Modelle aber auch in frühen Phasen jene Informationen bereitstellen, die in der Planungs- und Projektbegleitung nach Bedarfsplanumsetzungsvereinbarung (BUV) für das EBA notwendig sind.

1.2 Gesamtziel des Projektes

Das Gesamtziel besteht in der Identifikation geeigneter Prüfschritte beim EBA, die sich für modellgestützte Prüfroutinen eignen. Hierzu wird im ersten Teil des Berichts der aktuelle Stand der Technik erläutert und eingeordnet, welche konzeptionellen Ansätze bereits in marktüblichen Softwareprodukten umgesetzt und damit für das EBA als zeitnah nutzbar eingeschätzt werden. Des Weiteren werden ausgewählte Prüfroutinen auf die Möglichkeit der Automatisierbarkeit im Kontext modellbasierter Verfahren untersucht und dargestellt, welche Anforderungen und Kriterien zukünftig an BIM-Modelle gestellt werden, die teilautomatisierten Prüfroutinen zugeführt werden sollen. Der Bericht schließt mit einer Fallstudie ab, in der ausgewählte bisherige Prüfverfahren des EBA exemplarisch mit modellbasierten Verfahren implementiert werden.

Im weiteren Verlauf des Dokuments wird den folgenden Fragestellungen nachgegangen:

Welche Datenmodelle sind für eine automatisierte Prüfung geeignet und können sie zusätzlich die für die Prüfroutinen des EBA notwendigen Informationen abbilden? Gibt es Ansätze zur kombinierten Prüfung von BIM- und Geografischen Informationssystem(GIS)-Modellen?

Welche gängigen Methoden liegen der automatisierten Prüfung von Bauwerksmodellen zu Grunde? Wie werden diese Methoden in konkreten Prüfroutinen umgesetzt?

Wie und in welchen Bereichen wird die automatisierte Modellprüfung digitaler Bauwerksmodelle in der Praxis eingesetzt? Welche Arten der Prüfung werden umgesetzt? Wie können die Prüfergebnisse sinnvoll zurückgegeben und aufbereitet werden?

Welche kommerziellen Softwarewerkzeuge werden in der Praxis eingesetzt? Inwieweit sind diese Werkzeuge individuell durch eine Endanwenderin oder einen -anwender so konfigurierbar, dass damit potenzielle Prüfroutinen des EBA umgesetzt werden können? Existiert eine Programmierschnittstelle, durch die komplexe Prüfroutinen für ein Werkzeug implementiert werden können?

Welche nicht-proprietären Software-Frameworks können Grundlage für eine flexible Implementierung von Prüfroutinen sein, die sich nicht mit kommerziellen Werkzeugen umsetzen lassen?

Welche Rahmenbedingungen sind neben der Automatisierbarkeit von Prüfungen bei einer zukünftigen Arbeit mit Modellen zu beachten?

Welche Prüfregeln sind aus Normen für Modelle ableitbar?

Wie hoch wird der Nutzen und Aufwand bewertet?

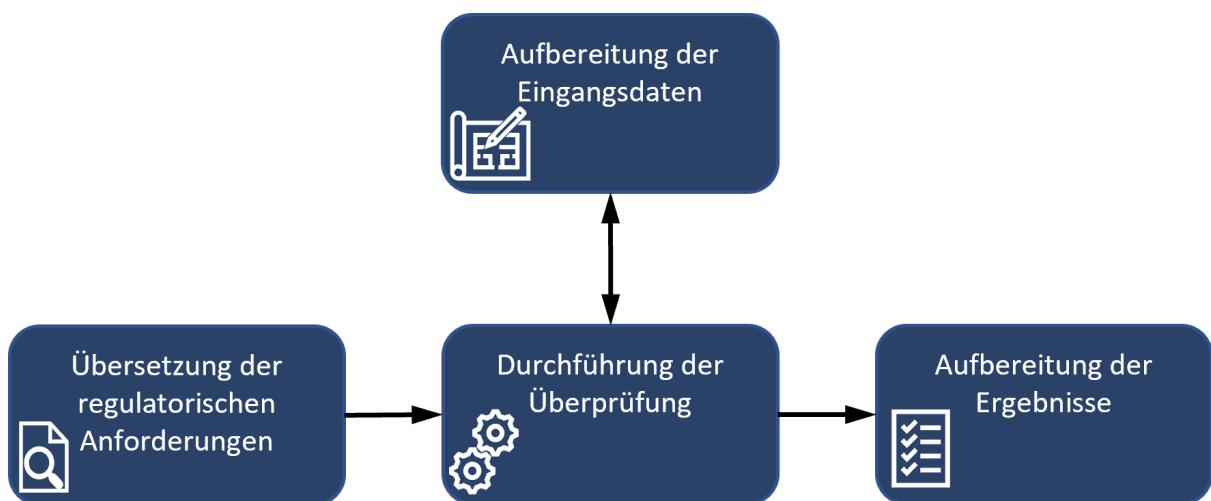


Abbildung 2: Bestandteile modellbasierter Konformitätsprüfungen nach Preidel (2020)

1.3 Taxometrie und verwendete Begriffe

Diese Studie stützt sich vorrangig auf öffentlich verfügbare Literatur und Veröffentlichungen aus dem Bereich der modellbasierten Prüfung von Regeln und Richtlinien, dem BIM und deren Anwendung im Bereich von Planung und Betrieb schienengebundenen Verkehrsmitteln.

Die verwendeten Begrifflichkeiten können daher an einzelnen Stellen von Handreichungen und Leitfäden des EBA abweichen. Primär verfolgt der vorliegende Bericht das Ziel, technische Möglichkeiten darzustellen, die zum Teil losgelöst von den zugrundeliegenden Prozessen innerhalb des EBA erläutert werden.

2 Stand der Technik

Die folgenden Abschnitte stellen den Stand der Technik dar. Sie erläutern wesentliche Grundlagen zu Konzepten und Methoden, die im Zusammenhang mit modellbasierten Verfahren und automatisierbaren Prüfroutinen stehen. Im ersten Schritt wird auf die Voraussetzungen zur Anwendung von BIM im EBA, insbesondere im Hinblick auf bestehende Untersuchungen, eingegangen. Nachfolgend werden die Möglichkeiten des modellbasierten Informationsaustausches zwischen verschiedenen am Planungsprozess beteiligten Disziplinen dargestellt und wie sich diese auf Strukturen des EBA anwenden lassen. Außerdem werden strukturierende Mechanismen erläutert, die die Spezifikation notwendiger Lieferleistungen in BIM-Projekten unterstützen. Anschließend werden Ansätze zur computerinterpretierbaren Abbildung von Regeln und Richtlinien, z. B. wie Ergebnisse von Prüfroutinen an planerische Organe übermittelt werden können, erläutert und diskutiert. Die Recherche schließt mit einem Überblick, welche Methoden international bereits zum Einsatz kommen, ab.

2.1 Nutzung von BIM beim EBA

Die Anwendung von BIM zur (Teil-)Automatisierung von Prüfungen beim EBA setzt neben der Identifikation und Anwendung von Prüfschritten eine technologische, organisatorische, fachliche und inhaltliche Einführung von BIM voraus. Innerhalb des Projekts „Analyse der Nutzungsvoraussetzungen zur Anwendung der BIM-Methode beim EBA“ (Bericht 15) wurde untersucht, welche Voraussetzungen hierfür gegeben sind. Das Projekt betrachtet innerhalb von drei Arbeitspaketen (AP) die technischen und organisatorischen Voraussetzungen.

Zentrales Ergebnis des Forschungsprojekts ist die Ausarbeitung von vier Hauptgeschäftsprozessen in Bezug auf deren Ist-Status sowie Soll-Status. Die Ist-Prozesse wurden tabellarisch erfasst und in Bezug auf Aktivitäten, Prozessbeteiligte, In- und Output, Dokumente, Prozessschnittstellen, Informationstechnologie (IT)-Werkzeuge und einer Bewertung ausgearbeitet. Aufbauend auf den Ist-Prozessen wurden die Soll-Prozesse erarbeitet und dokumentiert. Als Hauptgeschäftsprozesse wurden die folgenden vier Prozesse betrachtet:

1. *Planungs- und Projektbegleitung nach BUV:*
Dieser Prozess fokussiert behördliche Prozesse im Rahmen der Bewilligung und Genehmigung von Bundesmitteln für die Projektfinanzierung gemäß Bundeshaushaltsordnung (BHO) und eine zielgerichtete Fortschrittskontrolle von Vorhaben des Bedarfsplans Schiene.
2. *Verwendungsprüfung nach BUV:*
Im Rahmen der Verwendungsprüfung wird u. a. geprüft, ob die Bundesmittel gemäß ihrem Bewilligungszweck verwendet wurden.
3. *Planrechtsverfahren*
Mit dem Prozess Planrechtsverfahren werden die Rechtsgrundlagen für die Verwirklichung eines Vorhabens geschaffen. Gleichzeitig dient er der Ermittlung und Bewertung widerstreitender Interessen und deren Ausgleich in einer abschließenden Planrechtsentscheidung.
4. *Inbetriebnahmegenehmigung (IBG) nach Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung (EIGV):*
Der Prozess IBG sichert die Einhaltung des technischen Regelwerkes für die Inbetriebnahme von Bauteilen und baulichen Anlagen mit dem Ziel einer positiven Genehmigungsentscheidung.

Für die weiteren Ausarbeitungen wurden die ersten drei Geschäftsprozesse näher betrachtet, da die entsprechenden Themen im EBA als relevant bewertet wurden. Jeder der Geschäftsprozesse wurde in Teilprozesse und weiter in Aktivitäten unterteilt und in einer Tabelle dargestellt, wie in Abbildung 3 gezeigt.

| Geschäftsprozess "Projekt- und Planungsbelegung nach BUV" | |
|---|---|
| Teil-prozess | Aktivitäten |
| (0) Kontinuierliche Projekt- und Planungsbelegung | Planungs begleitende Dokumente in DOWEBA erfassen Einladung zur Besprechung Übergabe der Besprechungsunterlagen / Agenda Teilnahme an Besprechung Besprechungsprotokoll erstellen Besprechungsprotokoll mitzeichnen Besprechungsprotokoll mit Anlagen in DOWEBA erfassen |
| (1) Prüfen Planungsauftrag | Anschreiben PA stempeln Anschreiben PA scannen Anschreiben PA in DOWEBA erfassen Anschreiben in DOWEBA an AL verfügen Papierunterlagen in Postfach Refl. bringen Anschreiben in DOWEBA an zuständigen Refl. abgeben Anschreiben in DOWEBA an zuständigen Bearbeiter abgeben Papierunterlagen in Postfach Bearbeiter legen Aktenvorgänge in Dowebe anlegen Dokumente einer Akte und einem Vorgang in DOWEBA zuordnen PA prüfen Rückmeldung (Entwurf) und Vermerk in DOWEBA erstellen Rückmeldung (Entwurf) in Verfügungslauf zur Mitzeichnung geben Schlussgezeichneten Vermerk und Rückmeldung finalisieren Finalisierte Rückmeldung ausdrucken Rückmeldung von Refl. unterzeichnen oder von hierzu berechtigten MA Rückmeldung ggf. einscannen gescannte Rückmeldung ggf. in DOWEBA erfassen Rückmeldung (ohne Vermerk) im Original in Postausgangsfach legen Versandbestätigung Rückmeldung in DOWEBA anfordern Rückmeldung und Vermerk als Kopie in Akte abheften Rückmeldungen an die DB versenden Versand bestätigen |

Abbildung 3: Beispiel für die Hierarchie der Prozesse

Darüber hinaus wurde ein Soll-Konzept entwickelt, um übergeordnet zu identifizieren, welche Teilprozesse des jeweiligen Geschäftsprozesses durch BIM optimiert und automatisiert werden können. Abbildung 4 zeigt den Zielteilprozess des Geschäftsprozesses "Planungs- und Projektbelegung nach BUV".

| Planungs- und Projektbelegung nach Bedarfsplanumsetzungsvereinbarung (BUV) | | | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|--|-----------------------------------|
| Kontinuierliche Projekt- und Planungsbelegung | | | | | | | |
| Prüfung Planungsauftrag | Begleiten Grundlagenermittlung / Vorplanung | Vorbereiten parlamentarische Befassung | Ggf. Berücksichtigung der Ergebnisse der parlamentarischen Befassung in AVP | Begleiten Entwurfs- und Genehmigungsplanung | Prüfen BauFinVEntwurf / Erstellen Prüfbericht | Mittelfreigabe Kostenfortschreibung Planungsänderung | Dokumentation Zielerreichung MS 4 |
| 0/23 Aktivitäten | 1/70 Aktivitäten | 0/11 Aktivitäten | 0/21 Aktivitäten | 2/80 Aktivitäten | 1/19 Aktivitäten | 2/74 Aktivitäten | 0/16 Aktivitäten |

| | | |
|------------------|--------------|--|
| Geschäftsprozess | Teilprozesse | Durch BIM Automatisierbare Aktivitäten / Gesamte Aktivitäten |
|------------------|--------------|--|

Abbildung 4: Soll-Prozesse unter dem Geschäftsprozess "Planungs- und Projektbelegung nach BUV"

Im Forschungsvorhaben wird jede der Aktivitäten separat betrachtet und analysiert, um festzustellen, ob sie mit BIM durchgeführt werden kann. Danach werden die Geschäftsprozesse mit ihren entsprechenden Teilprozessen sowie die Aktivitäten wie in Abbildung 5 dargestellt.

| Teilprozess | Kontinuierl. Planungs- gespräche/ Projektbegleitung | Einreichen / Prüfen Planungsauftrag | Begleiten Vorplanung / Grundlagenermittlung | Vorbereiten parlament. Befassung | Umsetzung Rückmeldung parlament. Befassung |
|---|---|--|--|--|--|
| Rollen | | | | | |
| D – Durchführungsverantw. | B 1 B 2 Sb Außenstelle EIU | B 1 | B 1 GWP – B 4 | B 1 | B 1 |
| E – Entscheidungsverantw. | - | RL Vertreter | RL Vertreter | P Vertreter | RL Vertreter |
| M – Mitwirkung / zu beteiligen | RL | B 2 Sb Außenstelle | B 2 Sb Außenstelle (ggf. Ref. 23) | B 2 Sb Außenstelle | - |
| I – Zu informieren | - | - | AL | AL RL | AL |
| Dokumente | | | | | |
| In- Output | Gesprächsnotiz Terminplanung EIU | Planungsauftrag Rückmeldung | Vast, BAst, GWP, VP | Einzelvorstellung / Empfehlung | Rückmeldung Aufbereitung Rückmeldung |
| Prüfroutine (RBA) | - | - | Konstistenzprüfung | - | - |
| | | | Plausib. Kostenplanung | | |
| | | | Vollständigkeitsprüfung (Planunterlagen) | | |
| BIM-relevante IT-Architekturelemente | - | Proinvest | Modellviewer, Modellchecker | Modellviewer, Modellchecker | |
| | | EDU | EDU | EDU | EDU |
| | | DOWEBA | DOWEBA | DOWEBA | DOWEBA |
| Schnittstellen | - | DOWEBA / Fachverfahren | DOWEBA / Fachverfahren | DOWEBA | DOWEBA |
| Rahmenbedingungen | | | | | |
| Organisatorische Veränderungen | - | Ablösung papierbasierte Aufgaben | Ablösung papierbasierte Aufgaben | Ablösung papierbasierte Aufgaben | Ablösung papierbasierte Aufgaben |

Abbildung 5: Beispiel für Teilprozesse und automatisierbare Aktivitäten durch BIM

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, wurden generische Empfehlungen zur IT-Architektur sowie dem In- und Output für eine BIM Anwendung geben. Für eine Automatisierung und Digitalisierung der Prozesse wird zukünftig eine weitaus tiefere Detailierung der Schnittstellen zwischen Antragstellern und dem EBA sowie auch innerhalb des EBAs erforderlich.

Das Hauptziel dieses Forschungsprojekts ist die Nutzung von BIM als Prüf- und Kommunikationsmittel, daher ist auch eine digitale Prüfung des eingereichten Antrags erforderlich. Der eingereichte Antrag soll hinsichtlich der Vollständigkeit der eingereichten Unterlagen sowie der teilautomatisierten technischen Verifizierung der gelieferten Fachmodelle überprüft werden.

Bestehende technische und normative Ansätze zur Übergabe von Modellen sowie begleitenden Daten und Informationen in Containern, sollten hier in Zukunft neben der Identifikation von Prüfroutinen weiter vertieft werden. Diese Voraussetzung wurde auch durch die DB AG in ihrer Strategie als Vorgehen zum Informationsaustausch beschrieben, siehe Abbildung 6.

Daher werden die Kommunikation zwischen dem Antragsteller und dem EBA sowie die zu automatisierenden Prüfroutinen, in modellbasiert und containerbasiert unterteilt. Modellbasierte Prüfroutinen können mit der in Abschnitt 2.7.4 erwähnten verfügbaren BIM-Software durchgeführt werden. Containerbasierte Prüfroutinen können durch die Nutzung des Informationscontainer-Konzepts durchgeführt werden. Information Container for Linked Document Delivery (ICDD) stellt hierbei eine sinnvolle Lösung für die automatische Prüfung der Vollständigkeit der eingereichten Dokumente sowie der Verbindungen zwischen den Dokumenten untereinander oder den Dokumenten und dem BIM-Modell dar. Nachfolgend werden hierzu vorab die wesentlichen Zusammenhänge zu BIM-Modellen im Kapitel 2.2 beschrieben.

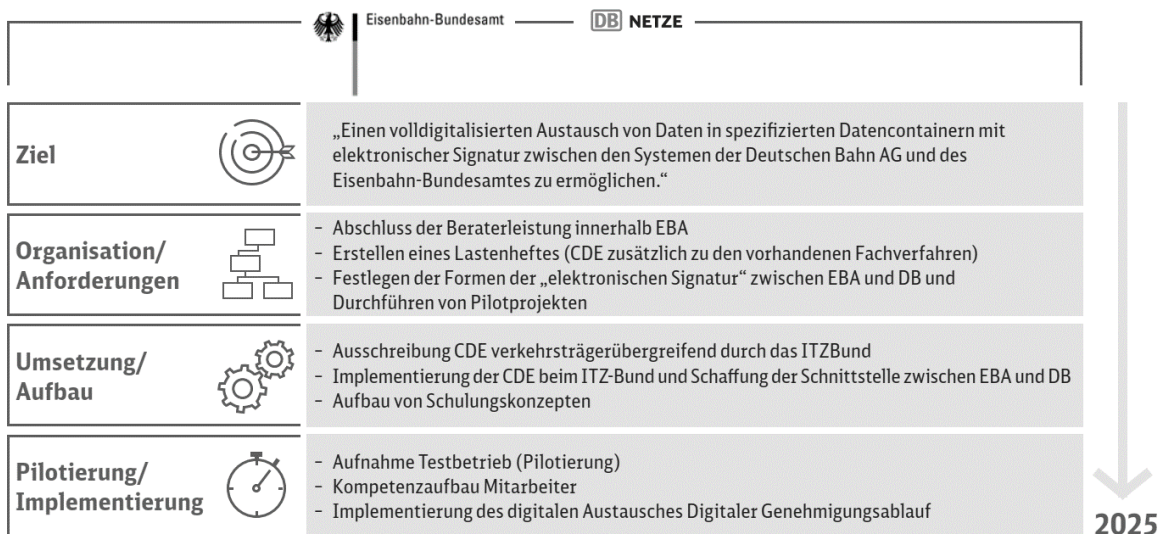


Abbildung 6: Implementierung BIM zwischen der Deutschen Bahn AG und dem EBA zur Einführung der digitalen Genehmigungsplanung und einem volldigitalisierten Austausch von Daten (DB AG, 2022)

2.2 BIM-Modell und Anwendungsfälle

Wie einleitend bereits dargestellt, besteht eine wesentliche Motivation des BIM in der verbesserten und konsistenteren Informationsspeicherung und -weitergabe in jeglicher Art von Bauprojekt und über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg. Ein BIM-Modell besteht in der Regel aus geometrischen und semantischen Informationen, die ein Bauwerk beschreiben. Es beinhaltet zumeist verschiedene Bauteile, die mithilfe dreidimensionaler Repräsentationen im Raum dargestellt werden und zusätzliche nicht-geometrische Informationen zu Materialien, Fertigung oder sonstigen Eigenschaften enthalten können. Zusätzlich können in einem Modell nicht-physische Objekte wie Räume oder Zonen abgebildet werden, die Bauteile beispielsweise in hierarchische oder systemische Strukturen gruppieren.

Insbesondere bei Vorhaben der Verkehrsinfrastruktur sind an Planung, Bau und Betrieb eine Vielzahl von hochspezialisierten Disziplinen beteiligt, die die für ihre Domäne relevanten Fachinformationen der Gesamtplanung beisteuern. Neben der fachlichen Komplexität bedarf es zudem der Beachtung verschiedener Projektphasen, die sich häufig über mehrere Jahre erstrecken können. Es ist daher von großer Bedeutung, dass die ausgetauschten BIM-Modelle jene Informationen enthalten, die für die anschließenden Planungsschritte oder weiteren Verwendungszwecke notwendig sind. Dies bedingt ebenfalls die für die Prüfung- und Genehmigungsprozesse relevanten Informationen zu definieren.

Auf Basis der gesammelten Erfahrungen aus bisherigen Pilotprojekten auf nationaler und internationaler Ebene, sowie wissenschaftlicher Untersuchungen, hat sich die disziplinübergreifende Kollaboration mithilfe so genannter Teil- und Fachmodelle etabliert. Ein Teilmodell bezeichnet hierbei einen Teil eines nach projektspezifischen Gesichtspunkten geometrisch bzw. räumlich geteilten Fach- und/oder Gesamtmodells. Kriterien zur Aufteilung können z. B. eine räumliche oder zeitliche Trennung von Projektabschnitten oder die Begrenzung der Dateigröße des Modells sein. Als Fachmodell werden digitale Bauwerksmodelle verstanden, die die Planungsergebnisse einer Fachplanerin oder eines Fachplaners für eine bestimmte Disziplin oder ein bestimmtes Gewerk beinhalten. Alle Teil- und Fachmodelle werden in regelmäßigen Intervallen in einem sogenannten Gesamtmodell/Koordinationsmodell zusammengeführt und dort koordiniert. Im Rahmen des Koordinationsprozesses werden zumeist qualitätssichernde Maßnahmen, wie eine geometrische Kollisionskontrolle oder die Überprüfung semantischer Bedingungen,

durchgeführt und müssen im Falle von Kollisionen von den einzelnen Planerinnen oder Planern gelöst werden. Neben dem etablierten kollaborativen Ansatz mit Teil- und Fachmodellen existieren diverse Lösungen zur gemeinsamen Bearbeitung in einem zentralen Gesamtmodell, welches sich aber aufgrund der im Bauwesen vorherrschenden Marktdiversität bisher nicht etabliert hat und daher nur innerhalb von Unternehmensgrenzen oder in Projektgruppen eingesetzt wird.

TABELLE 1: HARMONISIERTE ANWENDUNGSFÄLLE IM RAHMEN VON BIM-DEUTSCHLAND

| Nr. | Anwendungsfall |
|------------|---|
| 000 | Grundsätzliches |
| 010 | Bestandserfassung und -modellierung |
| 020 | Bedarfsplanung |
| 030 | Planungsvarianten bzw. Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen ¹ |
| 040 | Visualisierung |
| 050 | Koordination der Fachgewerke |
| 060 | Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung |
| 070 | Bemessung und Nachweisführung |
| 080 | Ableitung von Planunterlagen |
| 090 | Genehmigungsprozess |
| 100 | Mengen- und Kostenermittlung |
| 110 | Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe |
| 120 | Terminplanung der Ausführung |
| 130 | Logistikplanung |
| 140 | Baufortschrittskontrolle |
| 150 | Änderungs- und Nachtragsmanagement |
| 160 | Abrechnung von Bauleistungen |
| 170 | Abnahme- und Mängelmanagement |
| 180 | Inbetriebnahmemanagement |
| 190 | Projekt- und Bauwerksdokumentation |
| 200 | Nutzung für Betrieb und Erhaltung |

¹ Abhängig vom Fachbereich kann entweder der Begriff „Planungsvarianten“ oder „Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen“ gewählt werden

In allen Ansätzen des modellbasierten Arbeitens ist es notwendig, vorab Anforderungen an digitale Lieferleistungen klar zu benennen, vertraglich zwischen Auftraggebern (AG) und Auftragnehmern (AN) zu vereinbaren und ausgetauschte Datensätze entsprechend zu prüfen. Zur Spezifikation von Modellinhalten dienen sogenannte BIM-Anwendungsfälle, die beschreiben, auf welche Weise und zu welchem Zweck BIM-Modelle im Projekt genutzt werden. Hierzu wurden durch BIM-Deutschland 20 BIM-Anwendungsfälle definiert bzw. harmonisiert, deren Definitionen heute von zahlreichen AG genutzt werden, um die Verwendungszwecke der geforderten BIM-Modelle eines Projektes zu beschreiben (BIM-Deutschland, 2022).

Diese Anwendungsfälle wurden durch das Projekt BIM-Deutschland auf Ebene der Vorhabenträger für den Hochbau, die Schiene, die Wasserstraße und die Straße harmonisiert. Für die anschließende Durchführung von BIM Anwendungsfällen werden verschiedene Verfahren, wie automatisierte Kollisionskontrollen oder Methoden zur modellbasierten Mengenermittlung, eingesetzt.

2.3 AG-Informationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplan (BAP)

Die Kombination der dargestellten Konzepte von Teil-, Fach- und Gesamtmodellen und BIM-Anwendungsfällen erfordert, dass ein AG ein Bewusstsein entwickelt, welches Informationen in welcher Form und in welchem Format, wann zur Verfügung stehen müssen. Bei der Anwendung von BIM werden diese Anforderungen in den sogenannten Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) vertraglich vereinbart. Die AIA werden mit der Ausschreibung und Beauftragung der Planungs- oder Bauleistung, Grundlage für die eindeutige inhaltliche und strukturelle Lieferleistung des AN in Bezug auf Datenumfang und Datenqualität. AIAs werden in der Regel spezifisch für einzelne Disziplinen und für dedizierte Projektphasen formuliert, um notwendige Detailierungsgrade und Anforderungen nutzungsgerecht einzufordern.

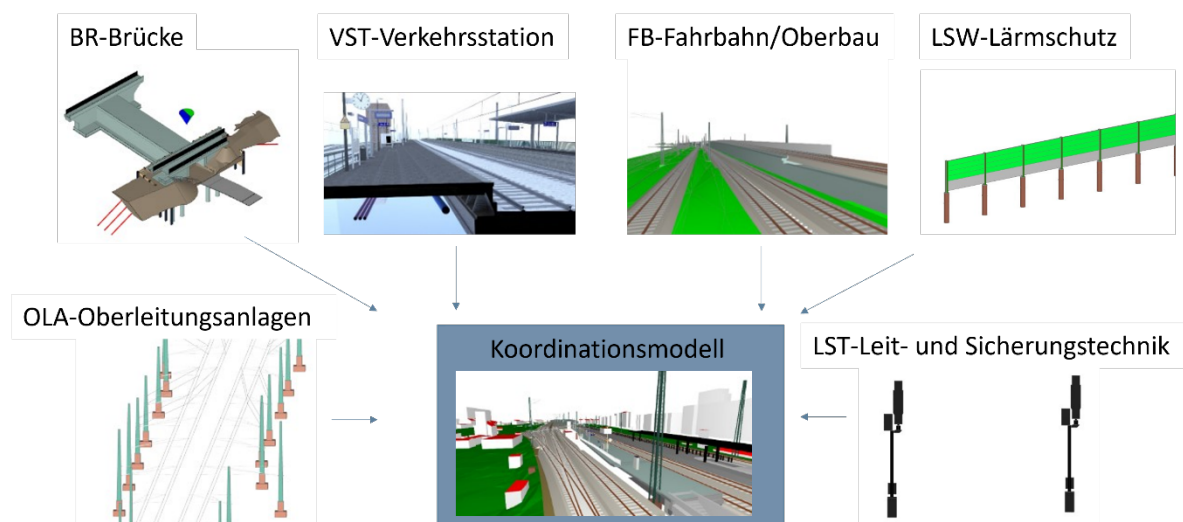


Abbildung 7: Ein Beispiel für verschiedene Fachmodelle und ein Koordinationsmodell

Die Übergabe der Modelle erfolgt hierbei sowohl in herstellerneutralen, offenen Formaten sowie in einem üblicherweise proprietären Koordinationsmodell. Die Modelle werden hierbei in sich sowie untereinander

ander, im Koordinationsprozess auf Konformität und Qualität geprüft. Des Weiteren werden die Informationen des Modells im Planungs- und Bauprozess zur Umsetzung von Anwendungsfällen (z. B. Mengen) verwendet.

Um die Auswertungen und Ableitung von Anwendungsfällen bei allen Beteiligten im Planungs-, Genehmigungs-, Bau- und Betriebsprozess auf der gleichen Informationsbasis zu automatisieren, wurden durch die AG in den letzten Jahren Vorgaben entwickelt. Diese sollen in den nächsten Jahren bundesweit harmonisiert werden. In Bezug auf die Prüfroutinen des EBAs stellen diese Objektkataloge und deren Inhalte, die Basis für die eigenen Prüfroutinen dar. Das durch die DB AG entwickelte semantische Objektmodell wird nachfolgend beschrieben.

2.4 Semantisches-Objekt-Modell der DB (SOM)

Das Semantische-Objekt-Modell (SOM) der Deutschen Bahn (DB) dient dazu, die Lieferobjekte auf Ebene der Fachmodelle, sowie auf der Ebene der Objekte zu beschreiben. Die Fachmodelle werden hierbei von den einzelnen Planungsdisziplinen im Autorensystem erstellt und die in den Modellierungswerkzeugen abgebildeten Objekte mit Merkmalen weitergehend beschrieben. Diese beschreibenden Merkmale werden auch als Semantik bezeichnet, woraus sich der Name des Modells ergibt. Das semantische Objektmodell ist hierbei in Bezug auf die Ausgestaltung der Geometrie auf Objektebene frei, definiert aber Vorgaben zur Bezeichnung und Benennung von Bauteilen, siehe Abbildung 8.

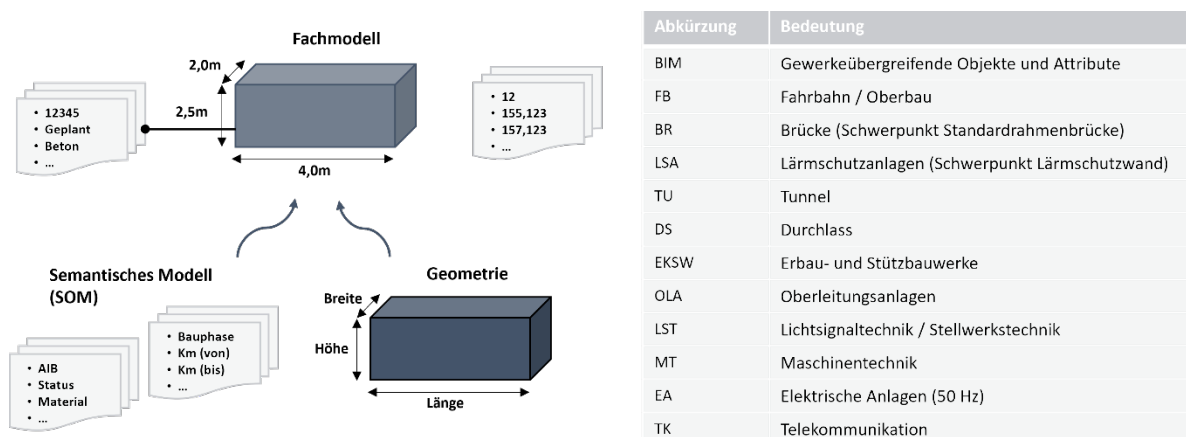


Abbildung 8: Zusammenspiel von semantischem Objektmodell, Geometrie und Fachmodell

Das SOM ist in Tabellenform beschrieben und weist für die Objekte folgende Inhalte aus:

- Klassifikation
- Objekt Name
- Attribut Name
- Datentyp
- Einheit
- Wertebereich
- Relevante Leistungsphase (LPH)
- Property Set

Ein beispielhafter Auszug aus dem SOM ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

| Gruppe | Teilgruppe | Element | Propertyset | Attribute | Beschreibung |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|----------------------|---|
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | | | |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | | |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | 4D-Vorgangs-ID | Eine ID zur Zuordnung zum Terminplan. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Terminplan-ID | Eine ID zur Zuordnung der Objekte zum Terminplan. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Kostengruppe | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zur jeweiligen Kostengruppe. |
| | | | | | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zum jeweiligen Kostenplan. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Kostenplan | Bsp.: Ein Projekt mit zwei eigenständigen Sachanlagen (Kostenplänen) 1. Sachanlage (Brücke) wird mit den Wert "1601" definiert. 2. Sachanlage (Brücke) wird mit den Wert "1602" definiert. Beschreibt die Zuordnung der Objekte zum jeweiligen Leistungsverzeichnis. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Leistungsverzeichnis | |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Vergabelos | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zum jeweiligen Vergabelos. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Objekt | "Objekt" ist der Matchkey zur eindeutigen Identifizierung der Bauteile. Benennung gemäß der Bauteile im SOM. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Strecke | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zur jeweiligen Strecke (Bsp.: "6178"). |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Bauabschnitt | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zum jeweiligen Bauabschnitt. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Bauwerk | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zu einem Bauwerk. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Gewerk | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zum jeweiligen Gewerk. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Gleis | Beschreibt die Zuordnung der Objekte zum jeweiligen Gleis. |
| Brücke / Stützbauwerk | Unterbau / Stützbauwerk | aufgehendes Stahlbauteil | Allgemein | Stationierung | Beschreibt die Stationierung eines punktuellen Objekts oder Bauwerks entlang einer Strecke. z.B. Signal, Brücke, Oberleitungsmast |

Abbildung 9: Auszug zum semantischen Objektmodell

Das SOM dient somit als zentrale Vorgabe zur Beschreibung und Definition von Merkmalen in allen Projekten. Für die Prüfung von Modellen stellt dies eine zentrale Grundlage dar, um Modelle teilautomatisiert zu prüfen, da das SOM die Sprache zur Identifikation von Objekten darstellt und ergänzende Merkmale zum Prüfen festlegt. Es ist davon auszugehen, dass das SOM für die vollständige Abbildung beliebiger Prüfregelelemente nicht ausreichend ist, da es für diese Anwendungsfälle noch nicht verwendet wurde. Ergänzende Anforderungen an die Modelle könnten hierzu durch das EBA bei der Spezifikation von Prüfregelelementen formuliert und bei einer Fortschreibung des SOM berücksichtigt werden. Das SOM findet aktuell in der Version 2.1 Anwendung.

Durch die Zuweisung von Informationsbedarfen in den einzelnen Leistungsphasen nach Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) können Informationsanforderungen in Bezug auf Leistungsphasen definiert werden. Mögliche Datenformate zur Übergabe von Modellen nach der im SOM spezifizierten Strukturierung werden nachfolgend erläutert. In der Praxis wird überwiegend Industry Foundation Classes (IFC) als Datenformat verwendet.

2.5 Datenformate zum modellbasierten Austausch

Aus den vorangegangenen Erläuterungen wird ersichtlich, dass bereits zahlreiche Konzepte und Methoden zur Darstellung planerischer Informationen in BIM-Modellen, zur Spezifikation von Informationsanforderungen und zu spezifischen Aspekten des schienengebundenen Verkehrs, existieren. Um nun Prüfroutinen automatisiert durchführen zu können, bedarf es darüber hinaus der Auseinandersetzung mit Möglichkeiten, nach welchen Datenspezifikationen BIM-Modelle erstellt werden können und inwieweit die gespeicherten Informationen automatisierte Prozesse zulassen. Eastman et al. (2009) benennt hierzu drei Arten, wie planerische Informationen in einem BIM-Modell vorliegen können:

1. Planerische Informationen sind explizit in einem Modell hinterlegt (z. B. Materialeigenschaften eines Objektes)
2. Fehlende Informationen können durch passendes Filtern des Modells ermittelt werden (z. B. durch das Generieren geeigneter Ansichten oder Schnitte)

3. Es sind zusätzliche Analysen und Berechnungen notwendig, um implizites Wissen aus dem Modell abzuleiten, auf welches anschließend die Prüfregele ausgeführt wird

Bei der Implementierung einer Automatisierung (z. B. für prüfende Zwecke) muss also sehr genau beachtet werden, wie die Informationen aus BIM-Modellen extrahiert werden können und welche Anforderungen sich dadurch an die zugrundeliegenden Datenmodelle ergeben. Wenngleich die zuvor diskutierten Anwendungsfälle zum Teil generisch für den Hoch- und Infrastrukturbau gelten, ergeben sich für Bauprojekte des schienengebundenen Verkehrs weitere spezifische Anforderungen an die Informationsbeschaffenheit, die den Einsatz bestimmter Datenmodelle begünstigen oder gar ausschließen. Hierbei spielen insbesondere geometrische Zusammenhänge zwischen Trassierungs- und Achsdaten sowie unterschiedliche Anforderungen an die Granularitäten auf Lage- und Netzpläne eine wesentliche Rolle, die beispielsweise im Hochbau so zum Teil nicht existieren.

Für die modellgestützte Prüfung von Modellen der Eisenbahninfrastruktur sind insbesondere folgende herstellerneutrale Datenmodelle relevant:

IFC

Mit den IFC hat die internationale Organisation buildingSMART International (bSI) einen weltweit akzeptierten Datenaustauschstandard geschaffen, der seit 2005 als ISO-Standard 16739 vorliegt. Die Norm wurde vom Europäischen Komitee CEN/TC 442 als Europäische Norm übernommen und hat über die bestehenden Spiegelungsmechanismen den Rang einer deutschen Norm erlangt (ISO EN DIN 19650). Bis zur Version 4.0 fokussierte sich der IFC-Standard ausschließlich auf den Hochbau. Gerade die öffentlichen und halb-öffentlichen AG sind dazu angehalten, Projektleistungen herstellerneutral auszuschreiben und die Daten in genormten, nicht-proprietären Datenformaten entgegenzunehmen, weshalb seit 2011 intensiv an den Erweiterungen des Datenmodells für Anwendungsfälle der Infrastrukturplanung gearbeitet wurde. Auf internationaler Ebene existierten hierzu mehrere Teilprojekte wie IFC-Bridge, IFC-Road, IFC-Rail und IFC-PortsAndWaterways, deren gemeinsame Grundlagen im Projekt „IFC Overall Architecture“ definiert wurden. Nach den Kleinversionen IFC4x1 (erste Unterstützung von Trassierungsinformationen), IFC4x2 (Erweiterung um brückenspezifische Komponenten) und mehreren Iterationen der IFC4x3 Version wurde Mitte 2021 die Version IFC4x3_RC4 als Candidate Standard auf internationaler Ebene verabschiedet und diese Version nun der ISO-Standardisierung zugeführt. Die Aktualisierung der zugehörigen Norm ISO 16739 wird für Ende 2022 bis Mitte 2023 erwartet.

Die Projektteams setzten sich aus Domänenexpertinnen und -experten sowie technischen Expertinnen und Experten zusammen. Diese heterogene Gestaltung der Gruppen führt zu einem intensiven Austausch über fachspezifische Konzepte und deren modellbasierten Abbildung im IFC-Datenmodell. Dabei wird stets zwischen der Zielsetzung der internationalen Anwendbarkeit und der technischen Implementierbarkeit abgewogen. Eine zentrale Basis bilden dabei bereits existierende Normen und Richtlinien aus dem internationalen Umfeld. Die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen IFC-Erweiterungen für Straße und Schiene auf Belange und Anforderungen in Deutschland wurde durch den Lehrstuhl CMS intensiv begleitet und in Berichten für das damalige Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) dokumentiert (Borrmann, 2020a, Borrmann 2020b).

Das IFC-Datenmodell wird zurzeit noch primär mit der Datenmodellierungssprache EXPRESS definiert, es existieren aber Mappings auf XML-Schema (genannt ifcXML) und auf Web Ontology Language (OWL) (genannt ifcOWL). Es ist zu erwarten, dass EXPRESS mittelfristig als primäres Datenmodellierungsmittel abgelöst wird und in der nächsten großen Version IFC5 zunehmend JSON- und XML-basierte Encodierungen zum Einsatz kommen werden.

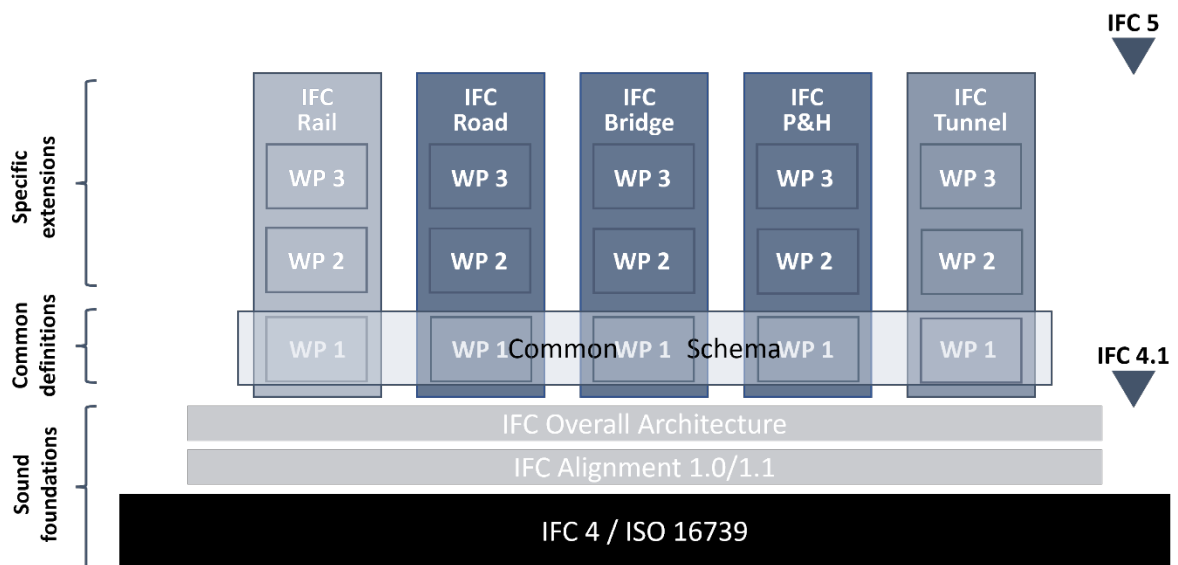


Abbildung 10: Übersicht über die internationalen Teilprojekte zur Erweiterung des IFC4-Standards für Belange der Infrastrukturplanung (buildingSMART international, 2020)

Eine wesentliche Eigenschaft des IFC-Datenmodells ist die Möglichkeit es flexibel um Merkmale (Properties) zu erweitern, die nicht Teil des internationalen Standards sind, sondern auf nationaler bzw. regionaler oder durch einzelne AG vorgegeben werden. Hintergrund ist, dass ein internationaler Standard unmöglich alle Besonderheiten berücksichtigen kann. Durch diese Flexibilität kann der IFC-Standard an Bedürfnisse angepasst und letztlich in beliebigen Projekten eingesetzt werden. Auch die DB arbeitet an der Festlegung entsprechender spezifischer Objekttypen und Merkmale und bereitet die Veröffentlichung von Vorgaben vor. Dies hat unmittelbaren Einfluss auf das hier bearbeitete Projekt bzw. umgekehrt, sollten EBA-seitig ebenfalls entsprechende Vorgaben erlassen werden damit Modelle die nötige Informationstiefe aufweisen, um sie in Zukunft automatisiert prüfen zu können.

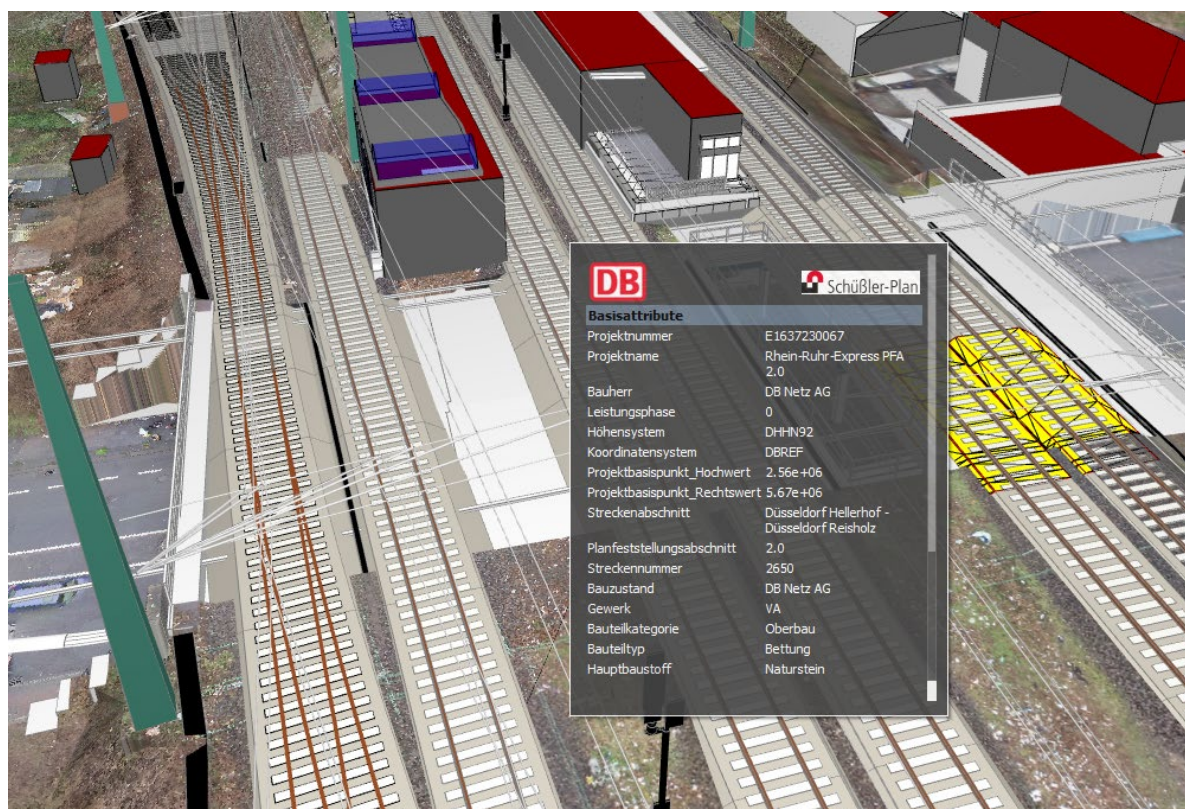


Abbildung 11: IFC-basiertes Modell des Fachgewerks Leit- und Sicherungstechnik mit dessen Merkmalen

PlanPro und RailML

Das PlanPro-Datenmodell soll Planenden die durchgehende, elektronische Datenhaltung bei der gesamten Planung von Leit- und Sicherungstechnik ermöglichen, die im Laufe der Planung eines Elektronischen Stellwerks (ESTW) entstehen. Konkret bedeutet dies, dass bereits erarbeitete Daten weitergegeben und eigene Ergebnisse in bestehenden Projekten ergänzt werden können. Langfristiges Ziel ist die Konzeption einer Datenbankstruktur, in die alle Informationen über bestehende sowie neu geplante und ausgeführte Leit- und Sicherungstechnik (LST)-Komponenten gespeichert werden (Buder, 2017). Neben der konsistenten Datenhaltung in der Planungsphase ist es das erklärte Ziel, die erzeugten Daten in den Betrieb des ESTW zuzuführen und die Vielfalt an Darstellungsarten für ein und dieselbe Information zu vereinheitlichen (Gerke, 2012).

Das Datenformat PlanPro ist aus dem Projekt "Durchgängige Elektronische Datenhaltung im ESTW-Planungsprozess (PlanPro)" hervorgegangen, an dem die DB AG, das Software- und Planungsunternehmen 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 seinerzeitigen DB Projekt Bau, DB International und DB-externer Ingenieurbüros beteiligt waren.

PlanPro ist ein herstellerunabhängiges Datenformat und wurde im Projekt seit 2008 als eines der Arbeitspakete erarbeitet, welches vom Arbeitskreis Datenmodell bearbeitet wurde. 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.

PlanPro basiert auf XML. Dabei handelt es sich um eine offene, textbasierte Auszeichnungssprache, die zur Speicherung und Weitergabe von strukturierten Informationen verwendet werden kann.

Esser (2018, 2019) hat sich umfangreich mit der Übersetzung von PlanPro in ein IFC-basiertes Datenmodell befasst, konnte zum Zeitpunkt der durchgeführten Studien aber noch nicht auf die umfangreichen Erweiterungen des IFC-Rail Projekts zurückgreifen. Diese wurden der Öffentlichkeit erst im Laufe des Jahres 2021 in einem implementierbaren Schema bereitgestellt.

Neben PlanPro mit starkem Fokus auf die Belange der Leit- und Sicherungstechnik in Deutschland, existiert mit dem RailML Standard im internationalen Kontext ein weiteres Datenmodell, welches spezifische Belange des schienengebundenen Verkehrs beschreibt. Im Vordergrund stehen dabei die Teilbereiche Interlocking zur Beschreibung von Signaltechnik, Infrastructure für Belange des Schienennetzes, Rollingstock zur Repräsentation verschiedener Fahrzeuge und Timetable zur Modellierung von Zeit- und Fahrplänen. Ergänzt wird das Datenmodell zudem durch den Common-Bereich, welches Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Teilbereichen des Datenmodells definiert (RailML, 2022).

Weitere Datenmodelle

Neben den vorgestellten Datenmodellen IFC, RailML und PlanPro, mit starkem Fokus auf bauliche Aspekte, existieren insbesondere im Bereich der Geoinformatik weitere Datenaustauschstandards, die gegebenenfalls für einzelne ausgewählte Prüfroutinen in Betracht gezogen werden können. Im Bereich der Geoinformatik ist das Open GeoSpatial Consortium (OGC) das maßgebliche Standardisierungsgremium für die Definition und Weiterentwicklung von Datenaustauschstandards. Das OGC umfasst alle wesentlichen Softwarehersteller der Geoinformatik sowie große Anwendervereinigungen. Häufig werden die dort entwickelten Standards später in ISO-, CEN- und DIN-Normen überführt.

Mit City Geography Markup Language (CityGML) und InfraGML existieren zwei spezialisierte Standards für die Beschreibung von Infrastrukturanlagen. CityGML fokussiert sich auf die Beschreibung von 3D-Stadtmodellen. CityGML beinhaltet, neben den notwendigen 3D-Geometriebeschreibungen, vor allem auch semantische Informationen für die Verwendbarkeit der entstehenden Modelle für verschiedene Einsatzzwecke. Die dreidimensionale Modellierung von ober- oder unterirdischer Infrastruktur wird allerdings lediglich ansatzweise in den Application Domain Extension (ADE) Bridge und Subsurface Structure berücksichtigt. Diese dienen jedoch vornehmlich der Beschreibung bereits existierender Bauwerke und sind demnach nur begrenzt zur Abbildung planerischen Wissens zu schienengebundener Infrastruktur einsetzbar.

Seit 2014 befindet sich der Standard InfraGML in der internationalen Entwicklung. Hierzu wurde die Land and Infrastructure SWG gegründet. Ziel der Entwicklung ist die Bereitstellung eines Datenmodells, das die Beschreibung und Übertragung von Anlagen der baulichen Infrastruktur auf Basis von GML erlaubt. Zum Definitionsumfang gehören dabei Straßen ebenso wie Schienentrassen, wobei unterschiedliche Konformitäts- bzw. Anforderungsklassen definiert werden.

Eine wesentliche Komponente von InfraGML ist die Definition von Trassierungen mithilfe ingenieurtechnischer Trassierungselemente im Grundriss (Gerade, Kreisbogen und Übergangsbogen) und im Längsprofil (Gerade, Längsneigung, Ausrundungskurve, Kuppen- und Wannenausrundung). Zudem kann eine lineare Positionierung entlang der entstehenden Achse vorgenommen und Querschnitte definiert werden. Für den Standard wurde zunächst in enger Kooperation mit buildingSMART ein konzeptionelles Datenmodell erarbeitet. Seit August 2017 liegt InfraGML als finaler Standard vor. OGC will mit der Einführung von InfraGML das weitverbreitete Format LandXML ablösen, welches lediglich einen Quasi- oder Industriestandard darstellt, d. h. nicht von einer Standardisierungsorganisation definiert wird.

Aufgrund der genannten Limitationen werden die Datenmodelle aus dem Bereich der Geoinformatik derzeit nur begrenzt für Anwendungsfälle im Kontext des BIM verwendet und folglich auch nur lückenhaft von gängigen Softwareprodukten unterstützt. Daher werden CityGML und InfraGML im vorliegenden Bericht nicht als Grundlage für weitergehende Prozesse und Prüfroutinen verfolgt.

2.6 Übergabe der Fachmodelle

Für die Datenübergabe zum EBA sind klare Übergabeschnittstellen zu definieren, die einen Austausch der relevanten Daten ermöglichen. Hierbei ist zu beachten, dass die zur Übergabe eingereichten Daten miteinander im Bezug stehen und übergeordnete Informationen zur Genehmigung für die allgemeine Digitalisierung der Datenübergabe (z. B. Bauherrin/Bauherr, Ansprechpartnerin/Ansprechpartner, Maßnahme, Datum der Einreichung) enthalten.

Zur Übergabe von miteinander in Bezug stehenden Daten sowie übergeordneten Angaben, werden sogenannte Informationscontainer verwendet. Diese erlauben eine Übergabe aller Daten in einem Container. Die Verwendung von Informationscontainern ist auf internationaler Ebene in der ISO 21597 *Information Container for Linked Document Delivery* standardisiert. Durch den Informationscontainer lässt sich eine digitale Bauwerksakte übergeben, die ein oder mehrere Dokumente bzw. BIM-Modelle beinhaltet. Ergänzend zu einzelnen Modellen und Dokumenten werden mithilfe von LinkedData Ansätzen, Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen einzelnen Objekten definiert, die in verschiedenen Dokumenten oder Modellen des Containers enthalten sind. Herausfordernd ist hierbei vor allem die korrekte Erstellung der Verweise, wie in mehreren Veröffentlichungen bereits untersucht wurde (Beetz, 2018, Borrmann, 2021).

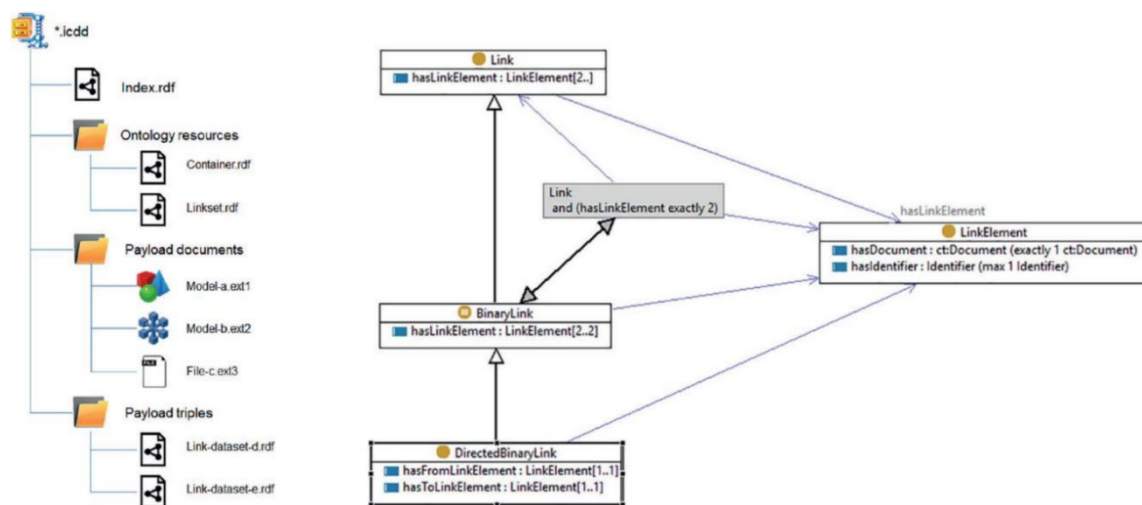


Abbildung 12: Links: Die Struktur eines ICDD Informationscontainers, rechts: Definition von Verweisen zwischen Elementen in verschiedenen Modellen und Dokumenten (Borrmann, 2021)

Der Einsatz von Informationscontainern wurde z. B. im Bereich des Hochbaus im Projekt BIM-basierter Bauantrag verwendet. Hier wurde ein auf den Datenformaten IFC, BIM Collaboration Format (BCF), XPLANUNG und XBAU basierte Ordnerstruktur erarbeitet.

Innerhalb der Datei xbau werden die Informationen zur Beschreibung des Bauantrags verwaltet. Die Datei xplanung beinhaltet den Bebauungsplan. Die Geometrie wird in der IFC übergeben. Eine Kommunikation der Abweichungen zum Bauantrag erfolgt über BCF. Durch die Zusammenfassung der Dokumente in einem Container entsteht die digitale Übergabe des Bauantrags.

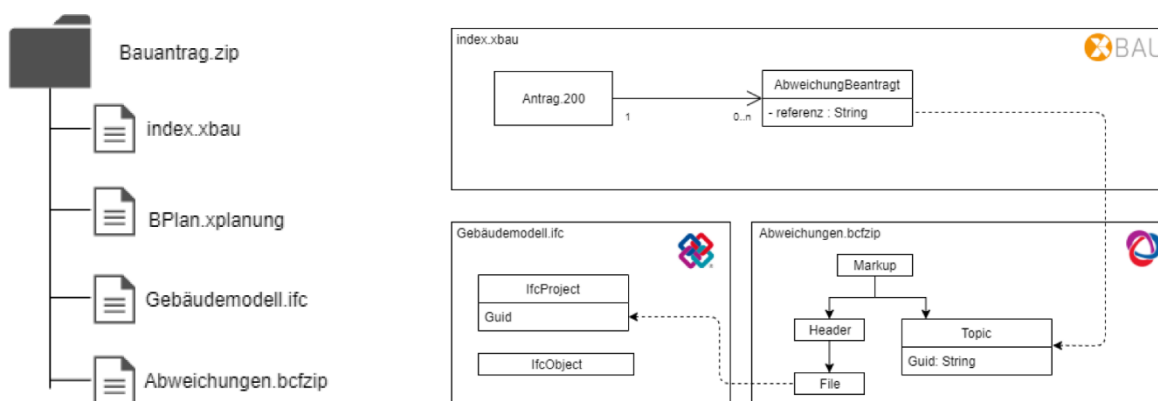


Abbildung 13: Struktur des Informationscontainers für den BIM basierten Bauantrag (BIM-basierter Bauantrag, 2020)

Ein entsprechender Informationscontainer könnte auch für die Belange des EBAs definiert werden und die relevanten Informationen zum Antrag enthalten. Durch diese Spezifikation wäre es möglich Informationen zwischen Programmsystemen und unterschiedlichen Bereichen standardisiert zu übergeben, ohne direkte Schnittstellen zwischen den Systemen wie z. B. der DB und dem EBA einrichten zu müssen.

2.7 Abbildung von Regeln und Richtlinien

Die Überprüfung der Einhaltung von Vorschriften ist seit mehr als vier Jahrzehnten Gegenstand wissenschaftlicher Forschung und wurde bei zahlreichen Projekten in die Praxis umgesetzt. Die meisten Studien haben sich jedoch auf die Gebäudeplanung und nicht auf Infrastrukturprojekte konzentriert. Bis heute hat sich kein allgemeingültiger, nachhaltiger Ansatz für die regelbasierte Konformitätsprüfung von Modellen etabliert (Dimyadi, 2018). Black-Box-Lösungen mit fest kodierten, teilweise versteckten Regelimplementierungen in anbieterspezifischen Lösungen, behindern die breitere Einführung von Prüfmechanismen. Um diese Einschränkung zu überwinden, hat sich die jüngere Forschung auf die Entwicklung offener und transparenter Methoden der Regelkodierung konzentriert, die auf allgemeinen Programmiersprachen oder domänenspezifischen Lösungen basieren. Während jedoch textuelle Programmiersprachen für BIM-Praktizierende häufig eine Herausforderung darstellen, erfreuen sich visuelle Programmiersprachen zunehmender Akzeptanz und weit verbreiteter Verwendung durch Fachleute.

Im Folgenden werden bestehende konzeptionelle Ansätze zur computerinterpretierbaren Abbildung von Richtlinien dargestellt und ein Überblick über ausgewählte Softwarelösungen gegeben.

2.7.1 Entwicklung

Garrett und Hakim veröffentlichten bereits 1992 ein Konzept zur Abbildung von Richtlinien unter Zuhilfenahme der Konzepte objektorientierter Programmierung (Garrett, 1992). Eastman et.al. (2009) haben diese Aspekte aufgegriffen und detailliert aufgezeigt, wie Konformitätsprüfungen auf Basis des IFC-Datenmodells gelingen.

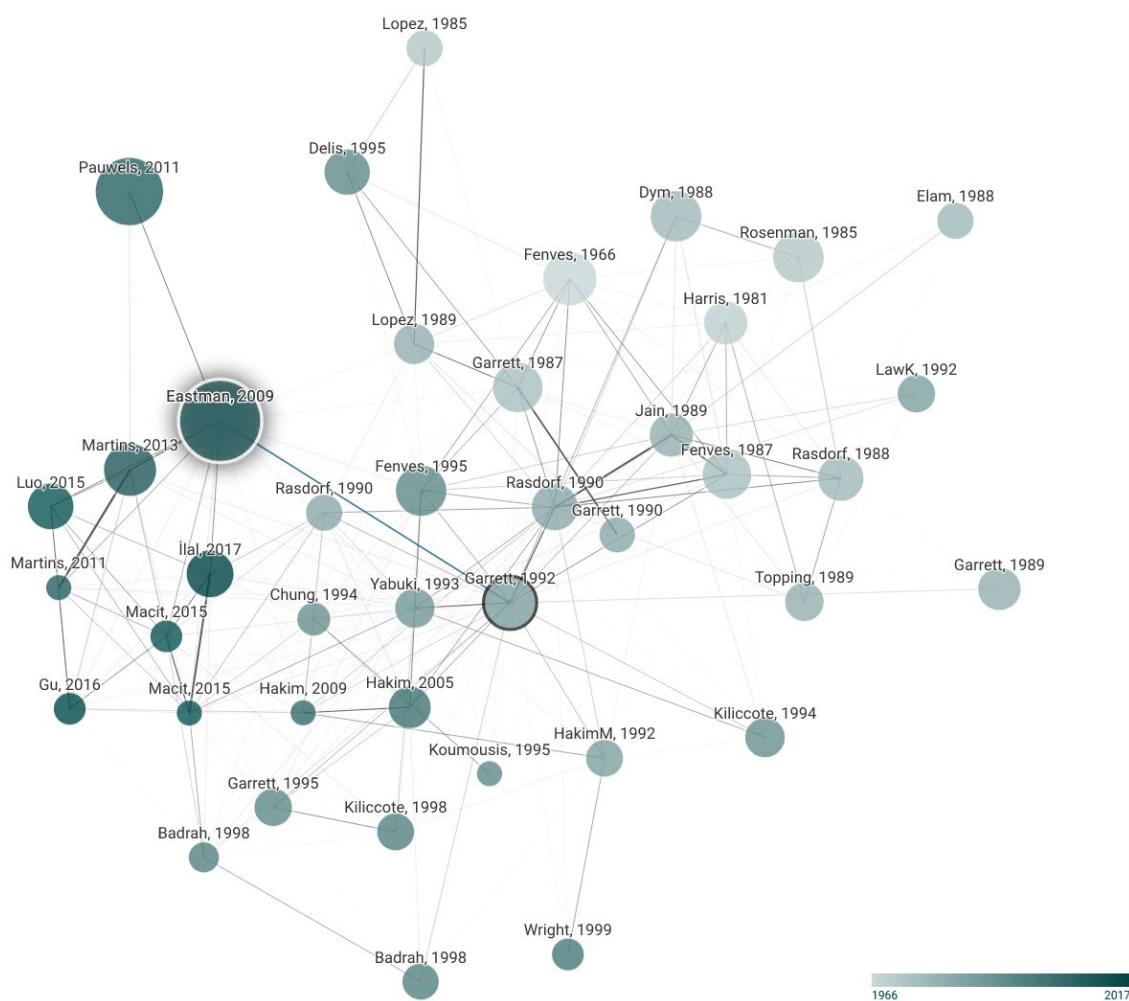


Abbildung 14: Überblick verschiedener Fachveröffentlichungen im Kontext automatisierter Modellprüfungen

Allen analysierten Veröffentlichungen ist gemein, dass eine geeignete Informationsgrundlage für die durchzuführenden Prüfungen vorgehalten werden muss und als Grundlage aller Automatisierungsansätze vorausgesetzt wird. Dies stärkt die bereits benannte Problematik, dass für planerische Informationen stets passende Repräsentationen zu wählen sind, die die gewünschten Anwendungsfälle auch tatsächlich unterstützen und notwendige Informationen zur Bearbeitung dieser zugänglich sind. Ergänzt wird dieser Aspekt durch die Problematik, dass heutige Vorschriften und Richtlinien nicht mit der Zielsetzung der computerbasierten Automatisierung formuliert wurden, sondern die Auslegung durch menschliche Intelligenz erfordern. Insbesondere im Bauwesen sind einzelne Regelwerke häufig miteinander verknüpft, sodass nur die subsummierte Betrachtung aller Regeln eine Aussage über einen validen Planungszustand zulässt.

2.7.2 Unterscheidung der Prüfverfahren

Die Abbildung von Prüfroutrinen stellt je nach zu prüfendem Sachverhalt einen komplexen Prozess dar. Die Prüfverfahren lassen sich in verschiedene Bereiche einteilen:

1. Händische Prüfverfahren
2. Automatische Prüfverfahren
 - a. Geometrieprüfung (Modellqualität, Abstände, Kollisionen)
 - b. Semantik Prüfung (Informationsgehalt, Merkmalslogiken)

c. Geosemantische Prüfverfahren (Kombination aus den Vorabgenannten)

Erweitert wird diese Systematik um die Betrachtung qualitativer Aspekte. Diese gliedern sich dabei in datentechnische und inhaltliche Qualitätskriterien. Unter datentechnischen Kriterien kann beispielsweise untersucht werden, ob ein BIM-Modell entsprechend alle Vorgaben des gewählten Übergabeformats enthält (Wohlgeformtheit der Daten). Weiter kann geprüft werden, ob die übermittelten Daten gemäß definierten Lieferbedingungen vollständig sind. Vollständigkeit kann aber auch im Kontext der inhaltlichen Prüfung betrachtet werden. Hierbei versteht man die Überprüfung, ob aus fachlicher Sicht alle notwendigen Informationen (geometrisch oder semantisch) in einem Modell vorliegen. Ebenso sind Qualitätskriterien denkbar, die sowohl geometrische als auch semantische Informationen beinhalten (beispielweise bei der Prüfung, ob Bauteile einer bestimmten Objektklasse auch geometrisch im Modell enthalten sind).

| | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| Modell- qualität | Datentechnische Qualität | Wohlgeformtheit | |
| | | Aktualität | |
| | | Verfügbarkeit | |
| | | Vollständigkeit | |
| | Inhaltliche Qualität | Semantik | Klassifikationen Gebrauchstauglichkeit Wertebelegung |
| | | Geometrie | Positionierung Kollisionsfreiheit Abstände |
| | | Geosemantik | 2D-3D Konsistenz Konsistenz zw. Geometrie und Bauteilklasse |
| | | Planerische Qualität | Kundenanforderungen Konformitätsprüfung |
| | | | |

Abbildung 15: Kategorisierung der Modellqualitätskriterien (angelehnt an Preidel (2020))

Allen Prüfroutinen und -kriterien gemein ist aber die Zielsetzung, ein vorab definiertes Muster (die Prüfregel) in einer Zieldomäne (dem BIM-Modell) korrekt zu identifizieren und Abweichungen adäquat zu kommunizieren. Dabei ist es insbesondere bei einem hohen Grad von Automatisierung notwendig, klare Anwendungsgrenzen zu definieren, in denen die Regelsätze ausgeführt werden sollen. Dies kann durch geeignete Objekttypen in einem BIM-Modell realisiert werden oder durch die Anwendung geeigneter Klassifizierungssysteme, wie dem SOM, erfolgen.

2.7.3 Formate für Prüfregeln – IDM, MVD und IDS

Für eine erfolgreiche Durchführung und ein reibungsloses Aufeinanderfolgen der Planungsprozesse ist es essenziell, dass bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Projekt festgelegt wird, welche Informationen einer oder einem Projektbeteiligten zu welchem Zeitpunkt zur Verfügung stehen müssen. Nur so kann sichergestellt werden, dass die oder der jeweilige Beteiligte auf die erforderlichen Informationen Zugriff hat und so ihrer oder seiner Aufgabe im Projektprozess nachkommen kann. Als prozesstechnische

Grundlage wurde hierfür das Information Delivery Manual (IDM) von buildingSMART entwickelt, welches auch als ISO-Standard (ISO 29481-1) spezifiziert wurde.

Ziel des IDM-Standards ist es, Vereinbarungen zu den geforderten Prozessen und Daten sowie damit verbundenen Verantwortlichkeiten zu treffen. Es enthält wesentliche Informationen, die jeder oder jedem Projektteilnehmenden in jedem Teil der Entwicklung zur Verfügung stellen sollte. Grundsätzlich arbeitet das IDM mit vier Hauptelementen: einer Prozesslandkarte (Process Map), den Austausch Anforderungen (Exchange Requirements), den IFC-basierten Austausch Anforderungen sowie einen allgemeingültigen Leitfaden zu den Objekten und Informationen des auszutauschenden BIM-Modells. Mit Hilfe der graphischen Notation Business Process Model and Notation (BPMN) können die Datenaustauschprozesse konzeptionell in der Process Map beschrieben und so einzelne Datenübergabepunkte identifiziert werden. An den definierten Übergabepunkten kommt es jeweils zu einem Austausch von Modellinhalten, welche im Detail definiert werden müssen. Grundlegende Fragestellung bei der Definition dieser Exchange Requirements ist, welche Informationen für den anschließenden Prozess zur Verfügung stehen müssen, damit dieser durchgeführt werden kann.

Das Konzept der Model View Definition (MVD, im Deutschen auch: Modellsichtdefinitionen) ermöglicht es anschließend, eine Teilmenge des IFC-Datenmodells, wie Klassen, Relationen oder Eigenschaften von Objekten zu adressieren, die für ein bestimmtes Informationsaustauschscenario nötig ist. Die in einer MVD definierten Anforderungen sind insbesondere für die exportierenden Softwareapplikationen von großer Notwendigkeit, da die Möglichkeiten des Datenmodells auf konkrete Bedingungen und Anforderungen limitiert werden. Im Regelfall werden durch buildingSMART international einzelne MVDs auch für den internationalen Gebrauch veröffentlicht, die Softwarehersteller anschließend als Basis für die Entwicklung passender Schnittstellen entwickeln. Aufbauend auf diesen eher generischen Definitionen können verschiedene Akteurinnen und Akteure und Parteien auf nationaler oder projektspezifischer Ebene weitere Einschränkungen in eigenen MVDs definieren.

Als aktuelle Limitation wird im Bereich der MVDs insbesondere die hohe Komplexität im Ausdruck einfacherer Regeln angesehen. Daraus resultiert weiterhin, dass neben den international veröffentlichten MVDs derzeit kaum Softwareprodukte für den Einsatz in geschäftskritischen Umgebungen existieren.

Die Konzepte MVD und IDM werden derzeit auf internationaler Ebene durch die Entwicklung der Information Delivery Specification (IDS) ergänzt. Ziel der IDS-Initiative ist die Beschreibung von Übergabebedingungen in einem maschinenlesbaren Dokument, das flexibel je auf projekt-, firmen- oder regionspezifische Anforderungen zugeschnitten werden kann. Der Fokus liegt dabei in der Beschreibung von Objekten, Eigenschaften und Einheiten, die ausgetauscht werden. Damit wird es nun möglich, in einem offenen Format nicht nur Konzepte oder (allgemeine) Austauschscenarien (z. B. MVDs) zu beschreiben, sondern zusätzliche Klassifikationssysteme oder Attributserver wie das buildingSMART Data Dictionary (BSDD) in die Informationsanforderungen einzubinden. Ein IDS-Dokument soll in Folge von einem AG erstellt werden und wird anschließend an die AN übergeben. BIM-Modellierer sollen das Dokument anschließend in ihre Design-Software einbinden können und so direkten Zugriff auf die spezifizierten Informationsanforderungen erhalten, ohne das Autorensystem verlassen zu müssen. Ergänzend können IDS-Dokumente ebenfalls bei der Prüfung und der Abnahme gelieferter BIM-Modelle eingesetzt werden (buildingSMART international, 2022).

Häußler (2021) hat in seiner Dissertation untersucht, ob die BPMN-Notation neben der formalen Beschreibung von Prozessen auch für die computerinterpretierbare Abbildung von Prüfroutinen geeignet ist. Vorteile dieser Methode sind einerseits die deutlich größere Flexibilität in der Konfiguration einzelner Regelsätze als in Blackbox-Ansätzen und zum anderen die Möglichkeit, komplexe Abhängigkeiten innerhalb einzelner Regelwerke mit anwenderfreundlichen, visuellen Elementen zu modellieren. Als

hinderlich stellte sich wie auch in anderen Untersuchungen heraus, dass eine Automatisierung von Prüfroutinen nur dann gut funktionieren kann, wenn die zugrundeliegenden Modelle entsprechende Informationen möglichst einfach zugänglich bereithalten.

2.7.4 Programme zur Modellprüfung

Für die Abwicklung automatisierter Prüfroutinen auf BIM-Modellen existieren mittlerweile diverse marktetaillierte Softwarelösungen. Grundsätzlich ist bei der technischen Umsetzung automatisierter Prüfroutinen in zwei Hauptkategorien zu unterscheiden, die in diversen Fachveröffentlichungen als „Blackbox“ bzw. „Whitebox“-Ansätze bezeichnet werden.

Unter Blackbox-Systemen werden im Bereich des Code Compliance Checkings Applikationen verstanden, die der Anwenderin oder dem Anwender vordefinierte Regeln bieten, die nicht oder nur in sehr begrenztem Umfang konfigurierbar sind und deren Ablauf nicht verändert werden kann oder einsehbar ist. Whitebox-Ansätze bieten hingegen umfangreichere Transparenz, wie ein Regelsatz geprüft wird und welche Einzelschritte ausgewertet werden. Häufig erfordern Whitebox-Systeme aber erhebliches technisches Wissen über die verwendeten Datenstrukturen und sind daher nur in begrenztem Umfang für Endanwenderinnen und -anwender zu empfehlen.

Im deutschsprachigen Raum werden vor allem die Applikationen Solibri Office und DESITE BIM häufig eingesetzt. Solibri Office ermöglicht es, sowohl grundlegende datentechnische und inhaltliche Kriterien als auch auf spezifische Anforderungen aus diversen internationalen und nationalen Richtlinien in BIM-Modellen zu prüfen. Dabei wird derzeit ausschließlich das IFC-Datenmodell unterstützt. Das interne Datenmodell der Solibri Applikation ist stark an den IFC-Standard angelehnt. Aufgrund leichter Varianzen zwischen den Exportmodulen verschiedener Autorenssysteme, bietet Solibri umfangreiche Möglichkeiten zur Klassifikation von Modellelementen, die schnell auf spezifische Anforderungen in einem Projekt angepasst werden können und damit die bereits angesprochenen Anwendungsbereiche einzelner Regeln definieren können. Solibri verwendet fest programmierte Routinen, welche mithilfe benutzerdefinierbarer Parameter in gewissem Umfang angepasst und verfeinert werden können. Ergänzend dazu existiert mittlerweile eine JAVA-basierte Application Programming Interface (API)-Schnittstelle, die die Erstellung zusätzlicher Regelsätze mithilfe von kompiliertem Quellcode ermöglicht. Diese Schnittstelle eröffnet neue Möglichkeiten, eigene spezifische Regelsätze zu entwickeln oder innovative Prozesse in Prüfschritten abzubilden.

Die Softwareapplikation DESITE BIM wirbt neben der integrierten Darstellung verschiedener Fachmodelle insbesondere mit Möglichkeiten der 4D-Modellierung und Visualisierung. Auch DESITE BIM verfügt über diverse Möglichkeiten zur Modellprüfung und bietet Funktionen zur Bauteilklassifikation und Ableitung von Bauteillisten an.

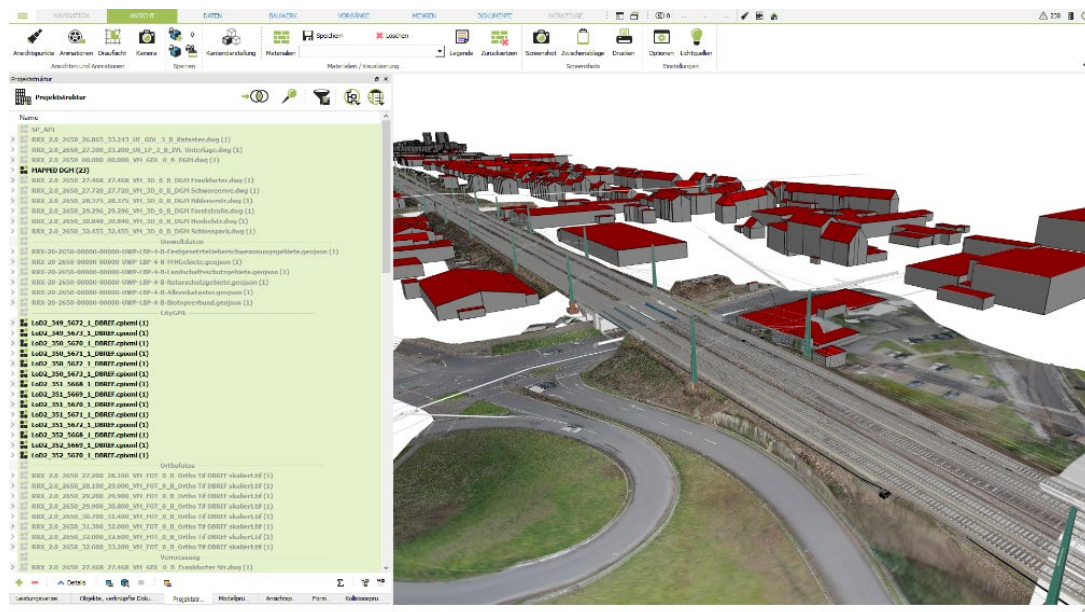


Abbildung 16: Benutzeroberfläche von DESITE BIM

Zusätzlich existieren diverse, meist serverbasierte Anwendungen, die große Sammlungen semantischer Informationen verwalten können. Hierbei sind in Deutschland vor allem die Produkte BIMQ von AEC3 (AEC3, 2022) und ProperBIM des Tech-Startups BIMTech im Einsatz. Ziel dieser Softwarewerkzeuge ist die Definition einheitlicher Informationsstandards, die bei der Modellierung und in Lieferleistungen zu erfüllen sind. Darüber hinaus bieten sie neuerdings direkte Schnittstellen in Softwarepakete zur BIM-Modellierung (unter anderem ProVI, Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, etc.) und zur Modellprüfung (u. a. Solibri und DESITE BIM).

2.7.5 Software-Pakete zur Einbettung in eigene Applikationen

Neben marktgängigen Softwareapplikationen existieren diverse Softwarepakete, die flexibel durch eigene Softwareentwicklungen eingebunden werden können. Hecht und Jaud haben hierzu eine umfangreiche Übersicht erarbeitet, die Lizenzierung und Funktionsumfang verschiedener Pakete zusammenfasst (Hecht, 2019). Derzeit lässt sich beobachten, dass insbesondere folgende quelloffenen Pakete für den Umgang mit IFC-Modellen Anwendung finden:

TABELLE 2: ÜBERSICHT ÜBER QUELLOFFENE SOFTWAREPAKETE ZUR ENTWICKLUNG IFC-BASIERTER PRÜFROUTINEN

| Name | Programmiersprache | Weiterführende Informationen |
|----------------|--------------------|--|
| IfcOpenshell | Python, C++ | http://www.ifcopenshell.org/ |
| GeometryGymIfc | C#, .NET | https://github.com/GeometryGym/GeometryGymIFC https://geometrygym.wordpress.com/ |
| XBim Toolkit | C#, .NET | https://docs.xbim.net/ |
| IfcJS | JavaScript | https://ifcjs.github.io/info/ |

Insbesondere im Softwarepaket IfcOpenShell wurden von freiwilligen Entwicklern ergänzende Prototypen veröffentlicht, die als Whitebox-Ansätze für die automatisierte Modellprüfung zu betrachten sind. Darunter fallen zum Stand der Berichterlegung die Anwendungen IfcClash² und der BIMTester³. Letztere Applikation erlaubt es, flexible Regeln als so genannte Features zu formulieren und die Erfüllung dieser Features anschließend automatisiert auf IFC-Modellen zu prüfen. Solche oder ähnliche Ansätze können neben den erläuterten offenen API-Schnittstellen kommerzieller Programme zukünftig die Basis für eine souveräne Implementierung von Prüfsystemen bilden.

2.8 Beispiele für modellbasierte Genehmigungsverfahren

Im nationalen und internationalen Bereich haben einzelne Institutionen und Verwaltungen, modellbasierte Genehmigungsverfahren entwickelt oder im Einsatz. Im deutschsprachigen Raum ist hier insbesondere das Projekt „BIM-basierter Bauantrag“ für den Hochbau zu nennen⁴. In diesem Projekt wurden auf Grundlage der Musterbauordnung Prozessdiagramme zur Abwicklung des BIM-basierten Bauantrags definiert und in einer Fallstudie in Zusammenarbeit mit der Stadt Hamburg erfolgreich erprobt. Neben Betrachtungen relevanter Akteurinnen und Akteure und Prozesse wurden insbesondere Datenaustauschanforderungen und geeignete Datenstrukturen beleuchtet. Darüber hinaus wurde als Projektergebnis eine Modellierungsrichtlinie veröffentlicht, die wichtige Hinweise zur Ausgestaltung der BIM-Modelle liefert. Für detaillierte Informationen seien die Leserinnen und Leser des vorliegenden Berichtes auf den umfangreichen Abschlussbericht verwiesen, der detailliert das angewandte Vorgehen und die erreichten Ziele der Pilotierung darstellt. Ähnliche Bestrebungen wie die im benannten Pilotprojekt benannten sind insbesondere im skandinavischen Raum bekannt. Dort sind die Prozesse und Systeme bereits seit mehreren Jahren im produktiven Einsatz⁵.

Fauth (2021, 2022) hat in ihren Veröffentlichungen das Potenzial der BIM-Methode im Kontext von Baugenehmigungen untersucht. Die in der Dissertation von Fauth (2021) erläuterten Prozesse und abgeleiteten Herausforderungen weisen Ähnlichkeiten zu den Fragestellungen auf, die auch im Kontext des EBA als prüfende Einheit relevant sind.

Im europäischen Kontext ist das *European Network for Digital Building Permits*⁶ (ENDBP) im Zusammenhang mit der modellbasierten Erstellung von Baugenehmigungen zu erwähnen. Dabei arbeiten Institutionen aus den Bereichen Forschung, Softwareentwicklung und Anwendung an einem gemeinsamen Verständnis von Prozessen und Anforderungen an Regelwerke sowie technologischen Fragestellungen. In diesem Kontext haben Noardo et.al. (2022) eine umfangreiche Recherche veröffentlicht, die erstmalig versucht hat, bestehende (meist sehr fragmentierte) Ansätze der modellbasierten Baugenehmigung in Relation zu setzen und den derzeitigen IST-Zustand zu dokumentieren. Ähnlich zu den bereits erläuterten Erkenntnissen in diesem Bericht zeigt sich, dass die vollständige Automatisierung von Prüf- und Genehmigungsprozessen insbesondere bei der Übersetzung bestehender Regelwerke in com-

² Verfügbar unter <https://github.com/IfcOpenShell/IfcOpenShell/tree/v0.7.0/src/ifcclash> (letzter Zugriff am 20.05.2022)

³ Verfügbar unter <https://github.com/IfcOpenShell/IfcOpenShell/tree/v0.7.0/src/ifcbimtester> (letzter Zugriff am 20.05.2022)

⁴ Weitere Informationen unter www.bimbauantrag.de (geöffnet am 02. September 2022)

⁵ Weitere Informationen unter <https://www.digitalzentrumbau.de/kos/WNetz?art=News.show&id=1308> (geöffnet am 15.05.2023)

⁶ Weitere Informationen zu Zielen und Akteuren in diesem Netzwerk sind unter <https://3d.bk.tudelft.nl/projects/eunet4dbp/> zu finden (geöffnet am 10. Oktober 2022)

puterinterpretierbare Repräsentationen behindert wird. Weiter stellen die Autoren der Publikation heraus, dass zahlreiche Expertinnen und Experten Teil eines Entscheidungsprozesses sind und diese derzeit meist nicht über passende Kommunikationswege zwischen einzelnen Teilschritten des Genehmigungsprozesses verfügen.

Außerhalb von Europa sind im Bereich der automatisierten Prüfung von BIM-basierten Datensätzen insbesondere die Entwicklungen in Singapur hervorzuheben. Die dortige Building and Construction Authority (BCA) hat im Laufe des vergangenen Jahrzehnts verschiedene Komponenten entwickelt, die sowohl auf die Kompetenzvermittlung BIM-basierter Verfahren bei den Antragstellern als auch auf die Interaktion mit BIM-Modellen an verschiedenen Stellen der öffentlichen Verwaltung abzielen. Zielsetzung dieser Bestrebungen war einerseits die schnelle Verbreitung des relevanten Wissens unter den Akteurinnen und Akteuren innerhalb eines Projektes und andererseits die Optimierung von Prozessen in der (öffentlichen) Verwaltung. Besonders hervorzuheben ist dabei das E-Submission-System als Teil des Construction Real Estate Networks (CORENET), an welches eine Vielzahl öffentlicher Ämter Behörden und Teile der Verwaltungen angeschlossen sind. Darüber hinaus müssen zur Erlangung von Genehmigungen nur noch ausgewählte BIM-Modelle digital übermittelt werden, um den Genehmigungsprozess durchführen zu können. Hierfür wurden umfangreiche Richtlinien und Handreichungen erarbeitet und den Planern zur Verfügung gestellt, um möglichst einheitliche Lieferleistungen zu erzielen⁷.

Eine Übersicht an Vorlagedokumenten für verschiedene Softwareprodukte ist öffentlich und ohne Registrierung zugänglich:

[https://www.corenet.gov.sg/general/building-information-modeling-\(bim\)-e-submission.aspx](https://www.corenet.gov.sg/general/building-information-modeling-(bim)-e-submission.aspx)

Im sogenannten BIM-guide wird zusätzlich unter anderem detailliert aufgelistet, welche Lieferleistungen für die modellbasierte Abgabe von Planungsdaten einzuhalten sind:

https://www.corenet.gov.sg/media/586132/Singapore-BIM-Guide_V2.pdf

Diese erfolgreichen Beispiele verdeutlichen, welchen Nutzen alle Beteiligten bei digitalen Übergabeprozesse haben können, und soll als Motivation für die Identifikation geeigneter Prüfroutinen für die Prozesse des EBA dienen.

2.9 Zwischenfazit

Die Literaturrecherche bestätigt die zu Beginn formulierte These, dass es neben technischen Voraussetzungen bereits einige Beispiele für modellgestützte Verfahren zur Überprüfung von Richtlinien gibt. Die damit einhergehenden Potenziale werden damit auch im Kontext des EBA als hoch eingestuft. Für die Definition konkreter Modellanforderungen sollten für das weitere Vorgehen einerseits auf die Entwicklungen im internationalen Kontext (Standardisierung des IFC4x3 Datenmodells als nächste Version der ISO 16739) und andererseits in Abstimmung mit den existierenden Vorarbeiten auf nationaler Ebene (beispielsweise das Semantische Objektmodell der DB) berücksichtigt werden.

Wie dargestellt, spielt in der Praxis derzeit vor allem das IFC-Datenmodell eine wesentliche Rolle im Bereich des herstellernerneutralen, offenen Datenaustausches. Dennoch ist erkennbar, dass weitere Formate und Standards für die vollumfängliche Abbildung von Prüfroutinen notwendig sein werden, weshalb die Definition passender Containerformate für die formale Abbildung digitaler Abgaben sinnvoll erscheint

⁷ Weitere Informationen: https://www.bca.gov.sg/publications/buildsmart/others/buildsmart_11issue9.pdf (geöffnet am 05. Oktober 2022)

und empfohlen wird. Die hierzu existierenden Vorarbeiten zum BIM-basierten Bauantrag können dabei aufgegriffen werden und für die konkreten Anforderungen einzelner Vorgänge im EBA exakt spezifiziert werden. Neben der standardisierten Strukturierung der Eingangsdaten hat die Definition von Containern den entscheidenden Vorteil, dass mit geringem Aufwand passende zur Vollständigkeitsprüfung implementiert werden können.

Schwieriger gestaltet sich die technische Umsetzung bestehender Prüfroutinen. Wenngleich hier verschiedene kommerzielle und quelloffene Softwareprodukte verfügbar sind, existiert zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch keine allgemeingültige Sprache, mit der computerinterpretierbare Prüfregeln allgemeingültig für verschiedene Anwendungen formuliert werden können. Es ist aber aufgrund der stetig voranschreitenden Erweiterung der relevanten Datenmodelle zu erwarten, dass verschiedene Softwarehersteller die Entwicklung von Prüfroutinen auf diesen Datenstrukturen zeitnah vorantreiben werden. Für das EBA ergibt sich hier als Handlungsfeld, den einreichenden Parteien zukünftig die für die Prüfroutinen relevanten semantischen Informationen klar zu definieren. Auch wenn das EBA nicht als klassischer AG, sondern als prüfende Institution auftritt, erscheint der in der Praxis verwendete Ansatz der AG-Informationsanforderungen als geeignetes Instrument, diese Anforderungen formalisiert auszu-drücken.

3 Identifikation geeigneter Prüfroutinen

Um Prüfroutinen innerhalb der Geschäftsprozesse des EBAs erfolgreich und sinnvoll implementieren zu können, gilt es möglichst vielversprechende Einsatzbereiche und Anwendungsfelder zu identifizieren. Hierauf aufbauend können dann Prüfroutinen beschrieben werden. Hierzu wurde innerhalb des AP 1 der Stand der Technik zusammengefasst. Zusätzlich wurden Gesetze, Regelwerke und Richtlinien, die für die Umsetzung von Prüfroutinen relevant erscheinen, zusammengefasst (siehe Anhang 06). Diese dienen im weiteren Projektverlauf dazu, favorisierte Prüfroutinen im Detail zu beschreiben und auf Basis von Richtlinien zu definieren.

Eine Definition von Prüfroutinen ausschließlich auf Basis der Richtlinien erscheint nicht sinnvoll. Mögliche Prüfroutinen für eine perspektivische Anwendung im Rahmen einer modellbasierten Genehmigung sollten vielmehr auf den bekannten Vorgehensweisen und Erfahrungswerten des EBAs beruhen. Dies wird eine Einführung von modellbasierten Arbeitsweisen und die hiermit einhergehende Veränderung (-sbereitschaft) erleichtern, da die Mitarbeitenden bekannte Vorgehen in einer neuen Methode anwenden können. Um dies zu ermöglichen, wurde ein Workshop mit den Mitarbeitenden des EBAs durchgeführt, um geeignete Prüfroutinen zu identifizieren. Die Ergebnisse des Workshops stellen die Grundlage für die weitere Bewertung von Prüfroutinen im AP 3 dar. Diese wurden auf Grundlage eines experimentellen Ansatzes entwickelt.

Der durchgeführte Workshop und dessen zentralen Ergebnisse werden nachfolgend zusammenfassend beschrieben. Eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse und bereitgestellten Unterlagen ist im Anhang (03 – Präsentation des Workshops und 04 – Protokoll des Workshops) zu finden.

3.1 Vorgehensweise

Der Workshop mit dem Titel "Identifikation und Bewertung von BIM-Prüfroutinen für das EBA" hat am 25. August 2022 in der Zentrale des EBA in Bonn stattgefunden. Der Workshop wurde innerhalb des geplanten Zeitraums von vier Stunden zwischen 9:00 und 13:00 Uhr durchgeführt.

Vor der Durchführung des Workshops wurde eine Online-Umfrage an die relevanten Abteilungen des EBA verteilt. Anhand der Ergebnisse wurden die Inhalte für den Workshop so aufbereitet, dass die Einschätzungen der Mitarbeitenden auf Basis der Umfrageergebnisse bereits im Vorfeld Berücksichtigung finden konnten. Somit stützt die Definition und Ausarbeitung möglicher Prüfroutinen für eine perspektivische Anwendung neben Richtlinien auf den bekannten Verfahren und Erfahrungswerte des EBAs.

Die Umfrage bestand aus vier Abschnitten. Im ersten Abschnitt wurden Kontaktinformationen abgefragt, damit bei Interesse eine Einladung zum Workshop erfolgen konnte. Die Kontaktinformationen umfassten den Namen, die E-Mail-Adresse und den Arbeitsbereich. Der zweite Abschnitt befasst sich mit der Bewertung der Teilprozesse in jedem der drei Geschäftsprozesse, die in diesem Forschungsprojekt berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 2.1), im Hinblick auf ihr Automatisierungspotenzial. Der dritte Abschnitt bezieht sich auf die Definition möglicher Prüfroutinen aus Sicht der Teilnehmenden und der vierte Abschnitt dient dazu, Kommentare und weitere Punkte zu sammeln, die im Workshop berücksichtigt werden sollen. Die vollständige Umfrage ist in Anhang 02 zu finden.

Auf der Grundlage der in AP 1 durchgeführten Untersuchungen und der Antworten auf die Umfrage wurde die in Tabelle 3 dargestellte Tagesordnung für die Durchführung des Workshops geplant. Die Folien der Präsentation des Workshops sowie das Protokoll des Workshops sind im Anhang 03 und Anhang 04 zu finden.

TABELLE 3: TAGESORDNUNG DES WORKSHOPS

| Zeit | Thema | Medium |
|---------------|---------------------------------------|--------------|
| 09:00 – 09:15 | TOP 1 Vorstellung der Teilnehmenden | Gespräch |
| 09:15 – 09:45 | TOP 2 Vorstellung des Projekts | Präsentation |
| 09:45 – 10:45 | TOP 3 Ergebnisse der Umfrage | Präsentation |
| 10:45 – 11:00 | Pause | |
| 11:00 – 12:15 | TOP 4 Identifikation von Prüfroutinen | Session |
| 12:15 – 12:30 | Pause | |
| 12:30– 12:45 | TOP 5 Zusammenfassung der Ergebnisse | Präsentation |
| 12:45– 12:55 | TOP 6 Fragen und Diskussion | Gespräch |
| 12:55 – 13:00 | TOP 7 Abschluss | Gespräch |

Aus den relevanten Abteilungen des EBA haben 19 Mitarbeitende an der Umfrage und 9 am Workshop teilgenommen.

3.2 Ergebnisse der Umfrage

Nach der Durchführung der Online-Umfrage wurden die Ergebnisse strukturiert, ausgewertet und visuell aufbereitet. Die in der Umfrage erfassten Rohdaten finden sich in Anhang 01 und die aufbereiteten Daten sind in Anhang 02 zusammengefasst. Im Folgenden werden die übergeordneten Ergebnisse der Umfrage sowie die Ergebnisse der einzelnen Geschäftsprozesse erläutert:

Basierend auf der Bewertung der Teilprozesse hinsichtlich ihres Automatisierungspotenzials, hat der erste Geschäftsprozess "Planungs- und Projektbegleitung nach BUV" generell ein höheres Potenzial im Vergleich zu den Teilprozessen im zweiten und dritten Geschäftsprozess, namentlich "Verwendungsprüfung nach BUV" und "Planrechtsverfahren". Die Teilprozesse mit dem höchsten Potenzial im ersten Geschäftsprozess sind "Dokumentation Zielerreichung MS 4", "Mittelfreigabe | Kostenfortschreibung | Planungsänderung", "Prüfen BauFinVe-Entwurf / Erstellen Prüfbericht" und "Begleiten Entwurfs und Genehmigungsplanung" (siehe Abbildung 17). Bei den relevanten Richtlinien zum ersten Geschäftsprozess wurden über zehn verschiedene Richtlinien wie Bundeshaushaltsordnung, Festlegung des EBA und Richtlinien der DB AG genannt. In den Antworten wurde jedoch darauf hingewiesen, dass dieser Geschäftsprozess ein allgemeines breites Grundwissen erfordert und einzelne Richtlinien wenig hilfreich sind, da sie nur einzelne kleine Teilbereiche abdecken.

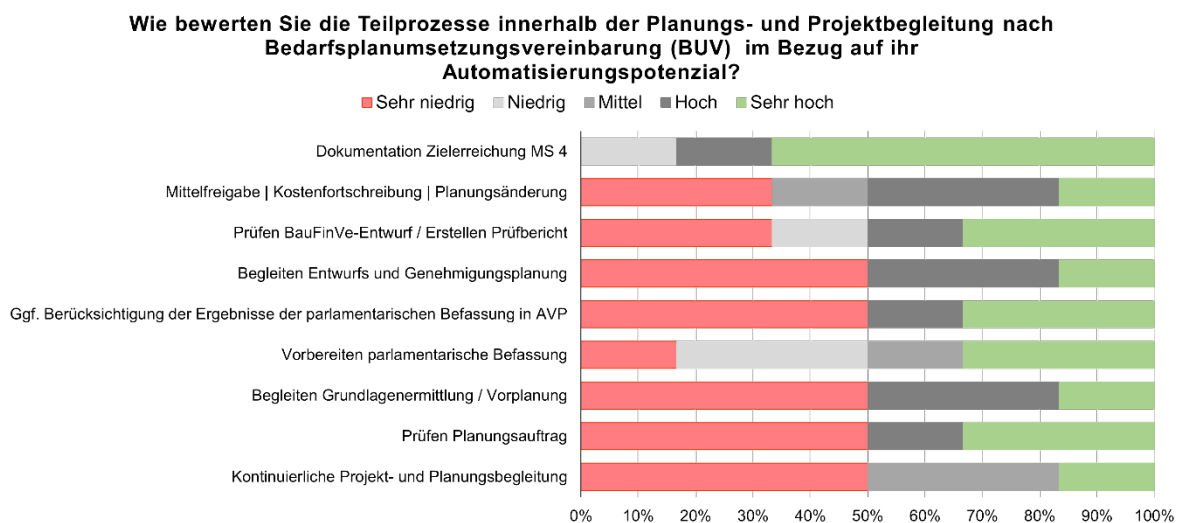


Abbildung 17: Bewertung der Teilprozesse unter Geschäftsprozess 1

Beim zweiten Geschäftsprozess sind die Teilprozesse "Verwendungsnachweis(e) bestätigen" und "Kursorisches Prüfen der Verwendungsnachweise" aus Sicht der Teilnehmenden die mit dem höchsten Potenzial (siehe Abbildung 18). Darüber hinaus wurden mehr als fünf verschiedene Richtlinien genannt, die für diesen Geschäftsprozess relevant sind, wie das Antrags- und Verwendungsprüfung (AVP)-Handbuch, die BHO und AnBest-P.

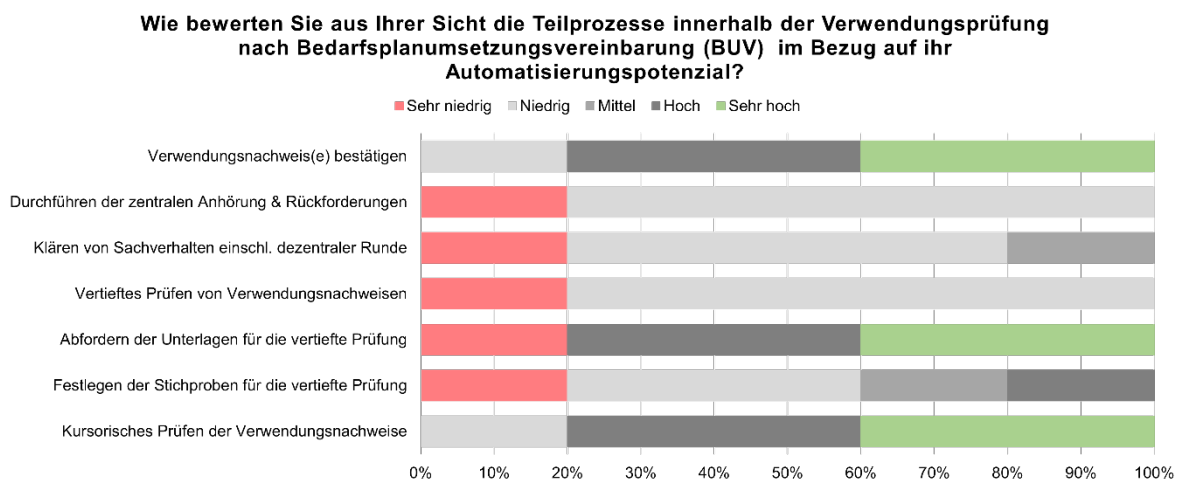


Abbildung 18: Bewertung der Teilprozesse unter Geschäftsprozess 2

Was den dritten Geschäftsprozess betrifft, so hat der Teilprozess "Ermittlung Kosten und Gebühren" nach Einschätzung der Teilnehmenden ein sehr hohes Automatisierungspotenzial, da 100 % der Antworten auf der Bewertungsskala zwischen den Werten "hoch" und "sehr hoch" lagen. Danach folgt der Teilprozess "Zusammenführen der Rückmeldungen" an zweiter Stelle hinsichtlich des Automatisierungspotenzials (siehe Abbildung 19). In Bezug auf Richtlinien haben die Teilnehmenden über 20 verschiedene Richtlinien aufgelistet, die für diesen Geschäftsprozess relevant sind.

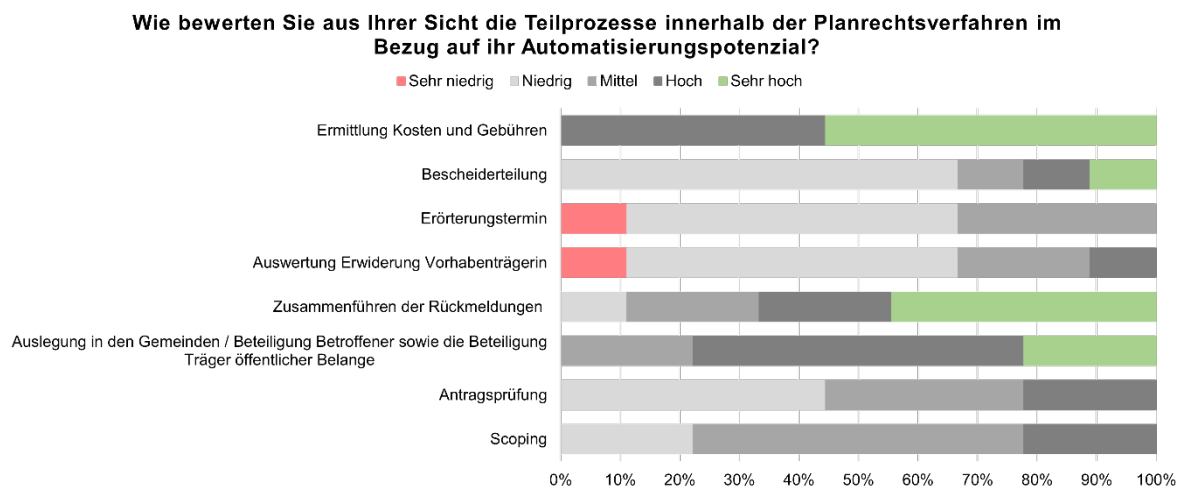


Abbildung 19: Bewertung der Teilprozesse unter Geschäftsprozess 3

Hinsichtlich der Ergebnisse bezüglich der Definition von Prüfroutinen, wurden die von den Teilnehmenden gegebenen Vorschläge, die aus Schritten bestehen, in neun Prüfroutinen strukturiert. Diese Routinen sind in Anhang 01 zu finden. Die Antworten, die aus kurzen Beschreibungen oder Hinweisen bestehen, sind in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- die Prüfung der Vollständigkeit von Dokumenten, sowie der Vergleich zwischen Dokumenten wie Verwendungsnachweis (VN) mit NdM
- Plausibilitätsprüfung, Überprüfung der Einhaltung von Richtlinien oder DIN-Normen
- Abgleich zwischen den Plänen und dem Bauwerksverzeichnis
- Verwendung von selbst erstellten Excel-Tabellen als Prüfroutine, um beispielsweise die Schallschutzangaben zu überprüfen
- Abgleich zwischen verschiedenen Versionen von Planungsunterlagen
- Potenzial zur Automatisierung von Prüfroutinen gibt es vor allem bei der Einreichung von Meilensteinen, der Berücksichtigung von Prüfergebnissen in der Planung, beim Antrag bzw. der Freigabe von Mittel
- alle Gewerke/Fachmodelle sind relevant und sollen in den Prüfroutinen berücksichtigt werden

Zusätzlich zu den vorangegangenen Vorschlägen wird darauf hingewiesen, dass die Definition von Prüfroutinen nicht immer möglich ist, da Bauprojekte einzigartig sind und es unterschiedliche Betroffenheiten im Zusammenhang mit der Anwendung der rechtlichen Vorgaben gibt. Darüber hinaus gibt es nach Ansicht der Teilnehmenden keine Prüfroutinen für die allgemeinen Aufgaben, da jede Entscheidung eine Einzelfallentscheidung ist. Es ist gewerkeübergreifendes Fachwissen gefragt.

Darüber hinaus lässt sich aus der Umfrage ableiten, dass eine spezifische Erläuterung von BIM und seiner Terminologie sowie eine weitere Aufschlüsselung der Prüfschritte erforderlich ist. Dies ist notwendig, um sinnvolle Prüfroutinen und Prozesse für das EBA definieren zu können, die auf Akzeptanz bei den Mitarbeitenden treffen.

Auf der Grundlage der oben dargestellten Ergebnisse der Umfrage, können die folgenden kritischen Bewertungen und Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Einige der in Bezug auf ihr Automatisierungspotenzial hoch bewerteten Teilprozesse berücksichtigten nicht die Anwendung von BIM bzw. konkret die Durchführung des Teilprozesses mit Hilfe von 3D-Modellen, beispielsweise der Teilprozess "Zusammenführen der Rückmeldungen" im Rahmen des dritten Geschäftsprozesses.

- Viele Angaben waren eher allgemeiner Art und für die konkrete Definition von Prüfvorgaben in Bezug auf die Ableitung von Prüfroutinen nicht hilfreich.
- Mehrere Vorschläge für Prüfroutinen lagen außerhalb des Anwendungsbereichs des Ansatzes der modellbasierten Prüfung, beispielsweise die Prüfung der Vollständigkeit von allgemeinen Dokumenten wie z. B. Berichte und Planungsordner.
- Konkrete Vorgaben zu Prüfroutinen konnten im Vorfeld nicht definiert werden, Identifikation musste im Workshop erfolgen.
- Die vorgeschlagenen Prüfroutinen konnten nicht weiter berücksichtigt werden, da sie die Prozesse allgemein durch Konzepte wie Plausibilität beschrieben. Außerdem erforderten sie bei einigen Schritten eine Kommunikation mit der bestehenden IT-Infrastruktur, z. B. ProInvest.
- Eine Einführung in das vorangegangene Forschungsprojekt "Analyse der Nutzungsvoraussetzungen zur Anwendung der BIM-Methode im EBA", das am EBA im Rahmen von BIM durchgeführt wurde, sowie eine Einführung in die BIM-Grundlagen und Möglichkeiten der Mitarbeitenden mit BIM ist erforderlich, um die bestehenden Wissenslücken zu schließen.

3.3 Zusammenfassung des Workshops

Die Teilnehmenden zeigten ein hohes Interesse an dem Thema BIM-Grundlagen und den praktischen Beispielen zur Anwendung in der Planung. Dies führte dazu, dass die für den Tagesordnungspunkt vorgesehene Zeit verlängert wurde und BIM-Grundlagen wie die AIA und das SOM, erläutert und zusätzlich eine Live-Demo eines Beispielprojekts präsentiert wurden. Die Teilnehmenden möchten über den Verlauf des Projekts auf dem Laufenden gehalten werden und wenn möglich eine ähnliche Live-Demonstration der resultierenden Prüfroutinen erhalten.

Aus Zeitgründen und aufgrund der unzureichenden Definition der Prüfroutinen (siehe Abschnitt 3.2) durch die Teilnehmenden an der Umfrage, wurden die definierten Prüfroutinen nicht im Detail weiter im Workshop diskutiert. Die für die Diskussion vorgesehene Zeit wurde genutzt, um eine Session zur Definition neuer Prüfroutinen zu leiten, die sich mehr auf BIM und seine erläuterten Möglichkeiten konzentrieren und diese berücksichtigen. Das Ergebnis der Session waren zwölf Vorschläge für Prüfroutinen, die im Folgenden aufgelistet sind:

1. Mengenabgleich Validierung von Stücklisten (z. B.: Abgleich Oberleitungsanlagen (OLA)-Masten)
2. Kontinuierliche Planungsbegleitung (Abweichung im Planungsprozess bewerten – BUV)
 - a. Festlegungen des Projektjournals
3. Frühe Leistungsphasen Projekt-/Modellumfang – technische Anforderung
4. Vertragsliste-/Belegliste in Kombination mit Basic Support für Cooperative Work (BSCW)
5. Einhaltung der DB Richtlinien (RIL)
 - a. Bahnsteig, Lichtraumprofil, Fluchtwege
6. Modellbezogene Eingangsprüfung
 - a. Unterschrieben Ja, Nein
 - b. Einhaltung der Planfeststellungsgrenzen
 - c. Einhaltung der Grenzwerte zu Grunderwerb, Naturschutz, Lärmschutz
7. Flächenabgleich
 - a. Änderung im Grunderwerb im Vergleich zu vorangegangenen Planungszuständen (insbesondere Nachvollziehbarkeit der Änderungen)
 - b. Automatisierte Überprüfung des Grunderwerbsverzeichnisses und Abgleich mit der eingereichten Planung
8. Umweltplanung
 - a. Überprüfung der Flächeninanspruchnahme in Bezug auf Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) (verschiedene Informationen der Planinformationen bündeln)

9. Grunderwerbsverzeichnis
 - a. Vollständigkeitsprüfung je Grundstück/Eigentümer – Zustimmung vorliegend?
10. Bundesmittelabgleich/Mittelabfluss modellbasiert
11. Stand im Prüfprozess, Abweichungen
12. Bundeskompensationsverordnung (Bilanzierungsmodell)

Bei den oben vorgeschlagenen Prüfroutinen handelt es sich um allgemeine Beschreibungen, die nicht per se als automatisierte Prüfroutinen angesehen werden können, da sie eine weitere Aufteilung und präziserer Definitionen bedürfen. Eine Kategorisierung in Bezug auf deren Automatisierbarkeit wurde im Rahmen des AP 2 vorab nicht vorgenommen, da die relevanten Evaluierungskriterien erst im AP 3 ausgearbeitet werden. Die vorgeschlagenen Prüfroutinen dienen vielmehr als Grundlage für die weitere Beschreibung der Prüfroutinen. Die weitere Unterteilung und Identifizierung werden in Abschnitt 3.4 erörtert.

Neben den vorab zusammengefassten Routinen wurde angemerkt, dass die BIM-Anwendung für das EBA nicht nur in Bezug auf eine automatisierte Prüfung Mehrwerte darstellt, sondern allgemein durch die höherwertige Beschreibung des Bauwerks mittels virtueller Bauwerksmodelle, einem schnelleren und tieferen Verständnis des Bauvorhabens und dessen Zusammenhängen dient. Ein Beispiel für die Übermittlung des Bauvorhabens mit dessen Zusammenhängen ist, die in Abschnitt 2.6 beschriebene Übergabespezifikation mittels ICDD. Basierend auf der Analyse der Umfrageergebnisse sowie den Diskussionen im Workshop, bedeuten die Containerformate eine sinnvolle Lösung für die Übergabe und Übermittlung von Modellen und den dazugehörigen Dokumenten sowie die Überprüfung von Dokumenten auf Vollständigkeit. Daher wird das Thema ICDD im Rahmen des AP 3 und AP 4 tiefergehend betrachtet.

3.4 Identifizierte Prüfroutinen

Als Ergebnis der Session des Workshops, die der Identifikation von Prüfroutinen gewidmet war, wurden von den Teilnehmern zwölf Vorschläge unterbreitet. Bei diesen Vorschlägen handelte es sich jedoch hauptsächlich um allgemeine Ideen und Konzepte, die zur Definition konkreter Prüfroutinen führen könnten. Daher wurden diese Vorschläge weiter auf sinnvolle technische Differenzierungen zur Umsetzung aufgeteilt.

TABELLE 4: IM RAHMEN DES WORKSHOPS IDENTIFIZIERTE PRÜFROUTINEN

| Prüfroutine | Beschreibung |
|---|---|
| #1 Validierung von Stücklisten: | Vergleich der Menge der Stücke eines bestimmten Typs (z. B. OLA-Masten) in der Stückliste und der Menge der Stücke im Modell. |
| #2 Abgleich von Mengen | Vergleich der eingereichten Kostenzusammenstellungen und der darin enthaltenen Mengen der einzelnen Sachanlagen mit dem Modell. |
| #3 Planungsbegleitung – Abweichungen und Änderungen bewerten | Abgleich verschiedener Versionen der Modelle, wodurch sich Änderungen in der Planung und damit in den Kosten nachvollziehen lassen. |

| Prüfroutine | Beschreibung |
|--|---|
| | Angenommen wird die stabile Vergabe von Objekt-Ids, wobei einzelne Objekte in verschiedenen Modellen, mit verschiedenen Geometriepäsentationen und mit verschiedenen Arten der Objektplatzierung enthalten sein können |
| #4 Projektumfang – technische Anforderung | Abgleich der technischen Anforderungen des Projektumfangs in der Planung mit dem Modell, z. B. die Abstände zwischen den Bauteilen, der höchste und der tiefste Punkt. |
| #5 DB RIL Konformitätsprüfung – Lichtraum | Abgleich der Einhaltung der technischen Regeln bezüglich des Lichtraumprofils, z. B. Höhe und Abstand vom Bahnsteig, mit dem Modell. Weitere Einzelheiten sind in RIL 800.0130 zu finden. |
| #6 DB RIL Konformitätsprüfung – Fluchtwege | Vergleich der Einhaltung der technischen Regeln zu den Fluchtwegen, z. B. lichte Höhe und Breite sowie Anzahl und Lage der Fluchtwege, mit dem Modell, vergleiche RIL 853. |
| #7 DB RIL Konformitätsprüfung – Bahnsteig | Abgleich der Einhaltung der technischen Regeln für Bahnsteige wie z. B. Höhe, Länge, Breite und Neigung der Fläche mit dem Modell, vergleiche RIL 813.0201. |
| #8 Vertragsliste-/Belegliste | Abgleich aller relevanten Dokumente wie Verträge oder Belege, die auf dem BSCW hochgeladen auf Vollständigkeit durch deren Verknüpfung mit den entsprechenden Bauteilen der Modelle. |
| #9 Eingangsprüfung – Grunderwerbsgrenzen | Prüfung der Grunderwerbsgrenzen, der erforderlichen Informationen zum Grunderwerb und bezogener Dokumente wie Grunderwerbsplan und Grunderwerbsverzeichnis. Darunter fällt ebenfalls der Abgleich der Katasterdaten im Datenmodell mit den Angaben im GE-Verzeichnis. |
| #10 Eingangsprüfung – Grenzwerte zu Naturschutz | Prüfung der Schutzgebietsgrenzen auf Vollständigkeit und ob die betreffenden Flächen und Bereiche eingehalten werden. Hierbei sind sensible Naturschutzbereiche gemeint, die nicht von der Planung betroffen sein dürfen. |
| #11 Eingangsprüfung – Immissionsgrenzwerte | Einbindung der Isophonenkarten und Immissionsgrenzwerte in das Modell, Prüfung ob betreffenden Objekte, wie z. B. Lärmschutzwände sich an der richtigen Lage befinden. |

| Prüfroutine | Beschreibung |
|--|---|
| #12 Eingangsprüfung – Einhaltung Planfeststellungsgrenzen | Prüfung der Planfeststellungsgrenzen im Modell auf Vollständigkeit. Detaillierte Betrachtung, ob die betreffenden Objekte wie z. B. Bauwerke innerhalb der Grenzen liegen. |
| #13 Flächenprüfung – Grunderwerbsverzeichnis | Abgleich der Informationen über die einzelnen Grundstücke im Grunderwerbsverzeichnis mit den entsprechenden Flächen im Modell. |
| # 14 Flächenprüfung – Flächeninanspruchnahme in Bezug auf UVP | <i>Detaillierung im Projektverlauf mit dem EBA</i> |
| # 15 Vollständigkeitsprüfung Grunderwerb | Abgleich der im Grunderwerbsverzeichnis vorhandenen Informationen mit den einzelnen Grundstücken im Modell und den dazugehörigen Informationen z. B. ob eine Zustimmungserklärung vorliegt. |
| # 16 Stand im Prüfprozess | Der Status der Prüfroutinen wird über das Modell an alle Beteiligten oder Abteilungen weitergegeben. Der Status kann als "Bestanden", "Nicht bestanden" oder als Beschreibung angegeben werden, wenn "Bestanden" oder "Nicht bestanden" nicht die richtige Bewertungsmethode ist. |
| # 17 Bundeskompensationsverordnung | Abgleich der Kompensationshöhe und der Vorgaben der Bundeskompensationsverordnung (BKompV) mit den Informationen, die mit dem Modell verknüpft sind, wie z. B. Schutzgüter Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Klima oder Luft, die erfasst und bewertet wurden. |

3.5 Dokumentation der Prüfroutinen

Für die Auswertung und Durchführung der Prüfroutinen ist eine geeignete Dokumentation erforderlich. Die Dokumentation sollte alle Basisinformationen über die Prüfroutine enthalten, z. B. unter welcher Projektphase sie eingeordnet ist, eine kurze und klare Definition der Prüfroutine sowie Informationen über die Ein- und Ausgabedaten.

Eine sinnvolle Form der Dokumentation der Prüfroutinen sind Steckbriefe, da sie alle grundlegenden Informationen enthalten und einen allgemeinen Überblick über die Prüfroutinen bieten. Diese Steckbriefe werden im Laufe des AP 3 erarbeitet und im AP 4 vollständig dokumentiert.

4 Bewertungsverfahren zur Umsetzbarkeit

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Grundlagen zur automatisierten Prüfung von Prüfroutinen erläutert sowie in Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten mögliche Prüfroutinen innerhalb des EBA identifiziert, die als aussichtsreich für eine modellbasierte Unterstützung in bestehenden Prüfprozessen angesehen werden. Im Folgenden sollen nun Kriterien entwickelt werden, die eine Aufwandsabschätzung sowie die zu erwartenden Verbesserungen durch modellgestützte Verfahren vergleichbar machen. Das Vorgehen gliedert sich hierfür in folgende Bereiche, die nacheinander betrachtet werden:

1. Aufstellung, Erläuterung und Einordnung der Bewertungskriterien, die je Prüfroutine untersucht werden sollen
2. Ableitung von Aufwänden und Nutzen je Routine
3. Anwendung der Bewertungskriterien auf die im Kapitel 3 aufgeführten Prüfroutinen
4. Auswahl der im weiteren Verlauf zu untersuchenden Prüfroutinen für die prototypische Umsetzung

An dieser Stelle sei eingeordnet, dass die in diesem Abschnitt dargestellten Abschätzungen für Aufwand und Nutzen auf die Kenntnisse der Autoren und damit vorrangig auf die Perspektive planender bzw. wissenschaftlicher Institutionen beziehen und prozessinterne Aspekte des EBA nur bedingt berücksichtigen können. Der Wissensgewinn, der sich im Zuge der prototypischen Umsetzung ergibt, wird nach der Umsetzung des AP 4 nochmals kritisch behandelt und wird abschließend in Kapitel 5 diskutiert.

Die im weiteren Verlauf verwendeten Begrifflichkeiten können an einzelnen Stellen von Handreichungen und Leitfäden des EBA divergieren. Möglicherweise entsteht daraus zukünftig der Bedarf einer feineren Auflösung, welche Routine für welche Prozesse innerhalb des EBA herangezogen werden sollte. Primär verfolgt der vorliegende Bericht das Ziel, technische Möglichkeiten darzustellen, die zum Teil losgelöst von den zugrundeliegenden Prozessen erläutert werden.

4.1 Aufstellung der Bewertungskriterien

Die Aufstellung der Bewertungskriterien orientiert sich an dem vierstufigem Konzeptbild zur automatisierten Konformitätsprüfung von BIM-Modellen in Abbildung 2 nach Preidel (2020).

Die dort definierten Schritte „Übersetzung regulatorische Anforderungen“, „Aufbereitung der Eingangsdaten“, „Durchführung der Überprüfung“ und „Aufbereitung der Ergebnisse“ werden als so genannte Bewertungsgruppen herangezogen, wobei innerhalb jeder Gruppe Einzelkriterien definiert werden.

Jedes Kriterium wird wie folgt erörtert:

| | |
|---|--|
| Bezeichnung | Kurzbegriff für die weitere Verwendung in den Steckbriefen |
| Beschreibung | Definition des Kriteriums, Einflussfaktoren, Aufgabenbereiche, ggfs. Darstellung möglicher Messunsicherheiten |
| Definition des Bewertungsbereiches | Definition zulässiger Bewertungen: <ul style="list-style-type: none"> - Numerische Skala mit Erläuterung der Extremwerte - True/False (numerisch [0; 1]) |
| Skalierungsfaktor | Ggfs. Skalierung des Einzelkriteriums innerhalb einer Bewertungsgruppe. Sofern nicht anders spezifiziert, wird die Skalierung zu $s_i = 1.0$ angesetzt. |

Damit errechnet sich das Gewicht einer Bewertungsgruppe aus der Summe der Produkte Einzelkriterien mit Gewichtungsfaktoren:

$$G_{Gruppe} = \sum s_i \cdot g_i$$

Abbildung 20 illustriert die Kriterien, die im weiteren Verlauf detailliert vorgestellt werden.

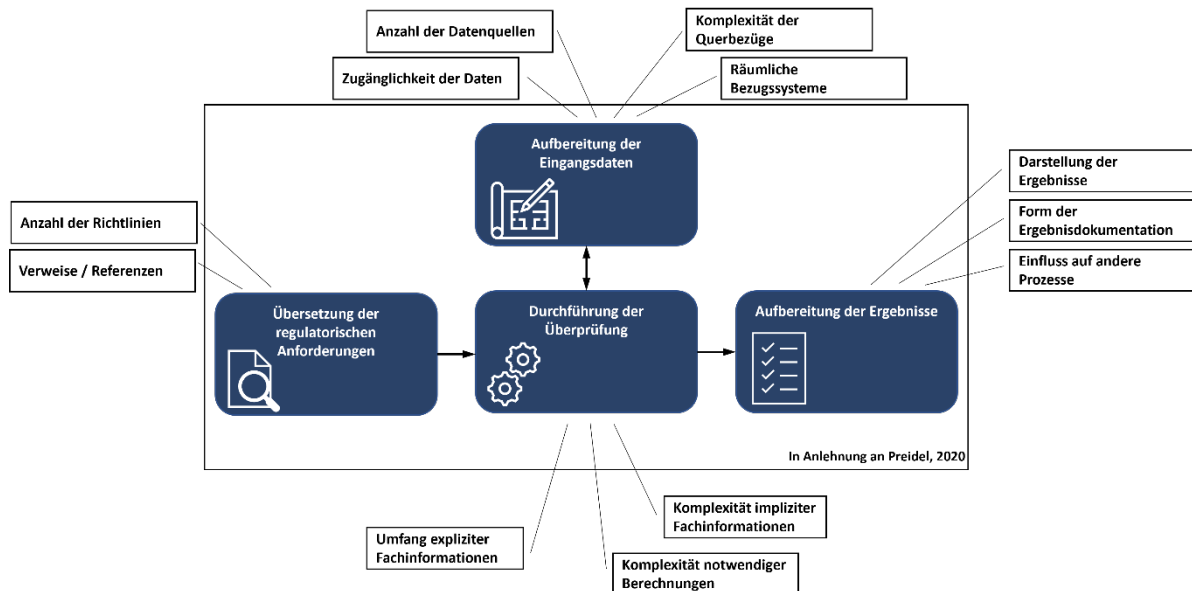


Abbildung 20: Bewertungskriterien für die Evaluation der identifizierten Prüfroutinen

4.1.1 Übersetzung der regulatorischen Anforderungen

Kriterium 1.1

| | |
|---|--|
| Bezeichnung | Anzahl zu berücksichtigenden Regularien |
| Beschreibung | Erfasst werden soll die Anzahl an Regularien aus verschiedenen Richtlinien. Als Kriterium wird die Anzahl der zu berücksichtigenden Paragraphen summiert. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls Prüfroutine ohne Richtlinienbezug $k = 1$, falls weniger als drei Paragraphen einer Richtlinie berücksichtigt werden müssen $k = 2$, falls drei oder mehr Paragraphen einer Richtlinie berücksichtigt werden müssen. |
| Skalierungsfaktor | 1 |

Kriterium 1.2

| | |
|---------------------|--|
| Bezeichnung | Verweise zwischen Richtlinienwerken |
| Beschreibung | Erfasst werden soll die Anzahl an Regularien aus verschiedenen Richtlinien. Als Kriterium werden einzelne Paragraphen subsummiert. |

| | |
|---|---|
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls keine Verweise $k = 1$, falls Verweise auf Abschnitte in derselben Norm $k = 2$, falls Verweise auf weitere Dokumente, Normen und Regelwerke. |
|---|---|

Skalierungsfaktor 1

4.1.2 Aufbereitung der Eingangsdaten

Kriterium 2.1

| | |
|---|---|
| Bezeichnung | Art und Anzahl der Datenquellen |
| Beschreibung | Dieses Kriterium erfasst die Beschaffenheit der Eingangsdaten. In Betracht gezogen werden können BIM-Modelle, die einem offenem Standard folgen (z. B. CityGML, IFC, LandXML, RailML, PlanPro), Daten, die in digitaler, skizzenhafter Form vorliegen (z. B. Vektorgraphiken, skalierte 2D-Skizzen) oder sonstige Datenquellen, die für die Bearbeitung der Prüfroutine als relevant eingestuft werden. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls eine Datenquelle eines eindeutigen Datenformats $k = 1$, falls mehrere Datenquellen desselben Datenformats $k = 2$, falls mehrere Datenquellen verschiedener Datenformate |

Skalierungsfaktor 1

Kriterium 2.2

| | |
|---|---|
| Bezeichnung | Zugänglichkeit der Daten |
| Beschreibung | Bewertet wird die Zugänglichkeit relevanter Daten. Es wird angenommen, dass die einreichende Partei in der Lage ist, Planungsdaten in offenen, standardisierten Datenformaten an das EBA zu übermitteln. Sofern für eine Prüfroutine weitere Informationsquellen von anderen Bereitstellern für die Bearbeitung der Prüfroutine relevant sind (beispielsweise Daten öffentlicher Einrichtungen, Ministerien oder Ämtern, Informationen anderer planender Organe außer einreichender Partei), ist dies hier zu erfassen. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls alle relevanten Daten durch die einreichende Partei bereitgestellt werden, $k = 1$, falls weitere Daten aus den internen Systemen des EBA hinzuzuziehen sind, $k = 2$, falls Daten von externen Quellen hinzugezogen werden müssen. |

Skalierungsfaktor 1

Kriterium 2.3

| | |
|--------------------|--|
| Bezeichnung | Komplexität der Querbezüge zwischen verschiedenen Datenquellen |
|--------------------|--|

| | |
|---|--|
| Beschreibung | Mit diesem Kriterium wird evaluiert, wie automatisierbar, die Verknüpfung der für die Prüfroutine relevanten Datensätze für die Bearbeitung der Prüfroutine eingestuft wird. <i>Für dieses Kriterium wird angenommen, dass das EBA in Zukunft konkrete Anforderungen an die Modellierung der Georeferenzierung in BIM-Modellen und begleitenden Datensätzen sowie an notwendige Informationstiefen definiert.</i> |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls keine Querbezüge zwischen verschiedenen Datensätzen herzustellen sind, $k = 1$, falls Datensätze georeferenziert in eine 2D- oder 3D-Umgebung geladen werden müssen, $k = 2$, falls zusätzlich zu der Georeferenzierung weitere Bezüge zwischen den einzelnen Datensätzen herzustellen sind. |
| Skalierungsfaktor | 1 |

Kriterium 2.4

| | |
|---|---|
| Bezeichnung | Räumliche Bezugssysteme in den Datensätzen |
| Beschreibung | Dieses Kriterium bewertet, wie umfangreich die Auflösung räumlicher Bezüge in Bezugssysteme eingestuft wird. Die untersuchten Datenmodelle verfügen teilweise über das Konzept der linearen Positionierung von Objekten entlang einer Bezugsachse (siehe ISO 19148) und/oder über Möglichkeiten, Abhängigkeiten zwischen mehreren Bezugssystemen über Koordinatentransformationen abzubilden. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls keine Relationen zwischen verschiedenen Bezugssystemen herzustellen sind, $k = 1$, falls lineare Positionierungen in kartesische Bezugssysteme oder umgekehrt umgerechnet werden müssen, $k = 2$, falls Kombinationen aus linearen und kartesischen Bezugssystemen aufgelöst werden müssen, um die Positionen von Objekten im Raum zu ermitteln. |
| Skalierungsfaktor | 1 |

4.1.3 Durchführung der Überprüfung

Kriterium 3.1

| | |
|---------------------|--|
| Bezeichnung | Umfang explizit vorliegender Fachinformationen |
| Beschreibung | Evaluiert wird der Umfang explizit vorliegender Fachinformationen in den BIM-Modellen. Die Bewertung erfolgt auf Basis von Datentypen bzw. verwendeter Entitäten in einem BIM-Modell, die für die Bearbeitung der Prüfroutine relevant sind (beispielsweise Anzahl von verwendeten geometrischen Repräsentationen, verwendete Objekttypen, etc.) |

| | |
|---|---|
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls eine einzige Datenrepräsentation eines eindeutigen Datentyps $k = 1$, falls mehrere Datenrepräsentationen eines Datentyps $k = 2$, falls mehrere Datenrepräsentationen verschiedener Datentypen |
| Skalierungsfaktor | 1 |

Kriterium 3.2

| | |
|---|---|
| Bezeichnung | Komplexität impliziter Fachinformationen |
| Beschreibung | In diesem Kriterium soll bewertet werden, wie komplex sich die Ableitung implizit vorliegender Informationen aus dem Modell darstellt. Hierbei werden überwiegend Fragestellungen mit Bezug auf Bauteilgeometrien und deren Position im Raum erwartet. Es sind aber auch Berechnungen mit nicht-geometrischen Informationen sind denkbar. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls alle relevanten Parameter direkt von einem Modellobjekt abgegriffen werden müssen, $k = 1$, falls einfache geometrische Berechnungen notwendig sind, deren Eingangsvariablen eindeutig aus dem Modell ableitbar sind, $k = 2$, falls umfangreiche geometrische Berechnungen notwendig sind, um die Eingangsparameter für die eigentliche Prüfroutine zu bestimmen (z. B. Ableitung von Schnitten, Umgang mit verschiedenen geometrischen Repräsentationen, etc.). |
| Skalierungsfaktor | 1 |

Kriterium 3.3

| | |
|---|---|
| Bezeichnung | Komplexität notwendiger Berechnungen |
| Beschreibung | Hiermit wird erfasst, wie komplex die Prüfroutine in der Implementierung eingeschätzt wird. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls lediglich die Anwesenheit eines Wertes, eines Attributes oder eines Objektes innerhalb eines Modells ermittelt werden muss, $k = 1$, falls sich Parameter in einem definierten Wertebereich befinden oder Fallunterscheidungen notwendig sind, $k = 2$, falls es sich um ein mathematisch nicht eindeutig lösbares Problem handelt und iterative Lösungsverfahren eingesetzt werden müssen. |
| Skalierungsfaktor | 1 |

4.1.4 Aufbereitung der Ergebnisse

Kriterium 4.1

| | |
|---|--|
| Bezeichnung | Darstellung der Ergebnisse |
| Beschreibung | Dieses Kriterium erfasst, ob es sich bei dem Ergebnis der Prüfroutine um ein eindeutiges Ergebnis handelt oder ob das erzielte Ergebnis gegebenenfalls weitere (z. B. feiner auflösende) Routinen erforderlich macht. |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls das Ergebnis mit reinem pass/fail erfasst werden kann $k = 1$, falls das Ergebnis durch Festlegung von Zielwertbereichen in pass/warning/fail erfasst werden kann. Der Bereich „warning“ korreliert hier mit dem Ansatz, dass Akzeptanz einer problematischen Situation durch amtliche Mittel wahrscheinlich durch Instrumente des Prüfenden erreicht werden kann (z. B. Zustimmung im Einzelfall) $k = 2$, falls das Ergebnis eine komplexere Aufbereitung als die vorherigen Fälle erfordert |
| Skalierungsfaktor | 1 |

Kriterium 4.2

| | |
|---|---|
| Bezeichnung | Form der Ergebnisdokumentation |
| Beschreibung | Mit diesem Merkmal soll erfasst werden, wie die Ergebnisse nicht-konformer Teile eines Datensatzes dokumentiert werden können. <i>Als Standardfall wird angenommen, dass eine Dokumentation mithilfe des BCF-Standards als technisch etabliert angesehen werden kann und diese Technologie zukünftig im EBA eingesetzt wird.</i> |
| Definition des Bewertungsbereiches | Numerische Skala $k = 0$, falls reine Warnmeldung ausreichend, $k = 1$, falls Erfassung der IDs nicht-konformer Objekte ausreichend, $k = 2$, falls Dokumentation kausal zusammenhängender Probleme notwendig ist. |
| Skalierungsfaktor | 1 |

Kriterium 4.3

| | |
|---------------------|--|
| Bezeichnung | Einfluss auf andere Prozesse und Routinen |
| Beschreibung | Dieses Kriterium dient der Erfassung, inwiefern das Ergebnis dieser Prüfroutine andere Vorgänge beeinflusst und ob diese zwingend über den Ausgang der Prüfroutine zu informieren sind. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass die Entscheidung über die Relevanz eines Prüfergebnisses in den meisten Fällen weiterhin eine menschliche Prüfung erfordert. Beispielsweise können im Falle von Prüfungen auf Vollständigkeit zwar einzelne Routinen in einer Prozesskette nicht weiterverfolgt werden, aber eventuell dennoch andere Vorgänge die Bewertung der Datensätze fortsetzen. |

Definition des Bewertungsbereiches

Numerische Skala

$k = 0$, falls das Prüfergebnis voraussichtlich keine Auswirkung auf andere Prozesse und Vorgänge hat. Im Falle einer erkannten Nicht-Konformität ist von einer minimalen Änderung der Planung ohne Auswirkung auf andere Bereiche zu erwarten.

$k = 1$, falls andere Prozesse und Vorgänge über die Prüfergebnisse zu informieren sind.

$k = 2$, falls ein Prüfergebnis zwingend zum Stopp aller anderen Vorgänge führt, da anzunehmen ist, dass die Planung nochmal signifikant zu verändern ist.

Skalierungsfaktor 1

4.2 Ableitung von Aufwänden und Nutzen

Wie eingangs dargelegt, kann und soll die hier diskutierte Evaluation vor allem aus technischer Sicht eine Abschätzung über die notwendigen Aufwände und dem Nutzen innerhalb des EBAs ermöglichen. Als grobe Einordnung wird definiert:

Aufwand: Summe der Bewertungsgruppen „Übersetzung der regulatorischen Anforderungen“, „Aufbereitung Eingangsdaten“ und „Durchführung der Überprüfung“

Nutzen: Bewertungsgruppe „Aufbereitung der Ergebnisse“

4.3 Anwendung der Bewertungskriterien auf die identifizierten Prüfroutinen

Tabelle 5 zeigt die Evaluationsergebnisse für jede Kriteriengruppe nach der Anwendung der Bewertungskriterien auf die in Kapitel 3.4 identifizierten Prüfroutinen. Die Gesamtübersicht befindet sich im Anhang 07.

TABELLE 5: ERGEBNISSE DER EVALUATION DER PRÜFROUTINEN. (FARBSKALA: ROT: HOHER AUFWAND/NIEDRIGER NUTZEN, GRÜN: NIEDRIGER AUFWAND/HOHER NUTZEN)

| Nr. | Beschreibung | Aufwände | | | Nutzen |
|-----|--|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | Regulatorische Anforderungen | Aufbereitung Eingangsdaten | Durchführung der Überprüfung | Aufbereitung der Ergebnisse |
| #1 | Vergleich der Menge der Stücke eines bestimmten Typs (z. B. OLA-Masten) in der Stückliste und der Menge der Stücke im Modell | 0 | 2 | 0 | 1 |
| #2 | Vergleich der eingereichten Kostenzusammenstellungen und der darin enthaltenen Mengen der einzelnen Sachanlagen mit dem Modell | 0 | 4 | 5 | 2 |

| Nr. | Beschreibung | Aufwände | | | Nutzen |
|-----|--|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | Regulatorische Anforderungen | Aufbereitung Eingangsdaten | Durchführung der Überprüfung | Aufbereitung der Ergebnisse |
| #3 | Abgleich verschiedener Versionen der Modelle, wodurch sich Änderungen in der Planung und damit in den Kosten nachvollziehen lassen. Angenommen wird die stabile Vergabe von Objekt-Ids, wobei einzelne Objekte in verschiedenen Modellen, mit verschiedenen Geometrirepräsentationen und mit verschiedenen Arten der Objektplatzierung enthalten sein können | 0 | 6 | 4 | 5 |
| #4 | Abgleich der technischen Anforderungen des Projektumfangs in der Planung mit dem Modell, z. B. die Abstände zwischen den Bauteilen, der höchste und der tiefste Punkt | 4 | 4 | 4 | 1 |
| #5 | Abgleich der Einhaltung der technischen Regeln bezüglich des Lichtraumprofils, z. B. Höhe und Abstand vom Bahnsteig, mit dem Modell. Weitere Einzelheiten sind in RIL 800.0130 zu finden | 1 | 3 | 3 | 2 |
| #6 | Vergleich der Einhaltung der technischen Regeln zu den Fluchtwegen, z. B. lichte Höhe und Breite sowie Anzahl und Lage der Fluchtwege, mit dem Modell, vergleiche RIL 853, RIL 423 sowie EBA-Richtlinie "Tunnelbau" | 1 | 3 | 3 | 3 |
| #7 | Abgleich der Einhaltung der technischen Regeln für Bahnsteige wie z. B. Höhe, Länge, Breite und Neigung der Fläche mit dem Modell, vergleiche RIL 813.0201.8 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| #8 | Abgleich aller relevanten Dokumente wie Verträge oder Belege, die auf dem BSCW hochgeladen wurden, auf Vollständigkeit durch deren Verknüpfung mit den entsprechenden Bauteilen der Modelle | 0 | 6 | 2 | 2 |
| #9 | Prüfung der Grunderwerbsgrenzen, der erforderlichen Informationen zum Grunderwerb undbezogener Dokumente wie Grunderwerbsplan und Grunderwerbsverzeichnis | 1 | 5 | 2 | 4 |
| #10 | Prüfung der Schutzgebietsgrenzen auf Vollständigkeit und ob die betreffenden Flächen und Bereiche eingehalten werden | 4 | 5 | 2 | 4 |
| #11 | Einbindung der Isophonenkarten und Ergebnisse in das Modell, Prüfung ob betreffenden Objekte, wie z. B. Lärmschutzwände sich an der richtigen Lage befinden | 4 | 4 | 1 | 3 |

⁸ Angenommen wird, dass alle Bauteile, die die Bahnsteiganlage formen, eindeutig in einem Modell anzusprechen sind (z. B. durch eine Aggregation)

| Nr. Beschreibung | Aufwände | | | Nutzen |
|--|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Regulatorische Anforderungen | Aufbereitung Eingangsdaten | Durchführung der Überprüfung | Aufbereitung der Ergebnisse |
| #12 Prüfung der Planfeststellungsgrenzen im Modell auf Vollständigkeit und Konsistenz über mehrere Dokumente/Modelle hinweg. Detaillierte Betrachtung, ob die betreffenden Objekte wie z. B. Bauwerke innerhalb der Grenzen liegen | 1 | 4 | 4 | 3 |
| #13 Abgleich der Informationen über die einzelnen Grundstücke im Grunderwerbsverzeichnis mit den entsprechenden Flächen im Modell | 1 | 6 | 4 | 3 |
| #14 Detaillierung im Projektverlauf mit dem EBA | 0 | 0 | 0 | 0 |
| #15 Abgleich der im Grunderwerbsverzeichnis vorhandenen Informationen mit den einzelnen Grundstücken im Modell und den dazugehörigen Informationen z.B. ob eine Zustimmungserklärung vorliegt | 0 | 5 | 4 | 3 |
| #16 Der Status der Prüfroutinen wird über das Modell an alle Beteiligten oder Abteilungen weitergegeben. Der Status kann als "Bestanden", "Nicht bestanden" oder als Beschreibung angegeben werden, wenn "Bestanden" oder "Nicht bestanden" nicht die richtige Bewertungsmethode ist | 0 | 5 | 0 | 0 |
| #17 Abgleich der Kompensationshöhe und der Vorgaben der BKompV mit den Informationen, die mit dem Modell verknüpft sind, wie z. B. Schutzgüter Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Klima oder Luft, die erfasst und bewertet wurden | 3 | 6 | 5 | 5 |

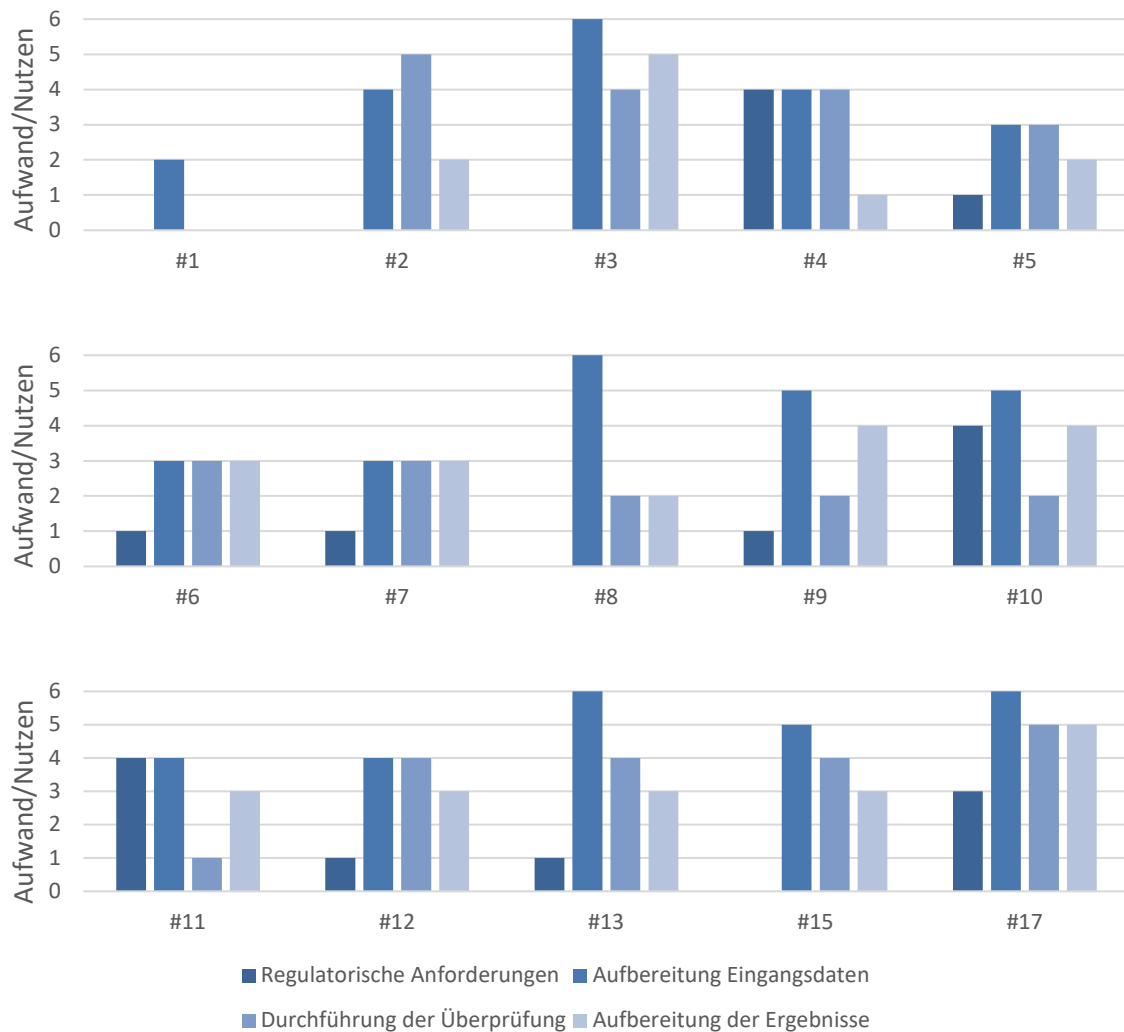


Abbildung 21: Auswertung der Evaluationskriterien für alle identifizierten Prüfroutinen

Als voraussichtlich aufwendig werden Routinen zur Variantenuntersuchung und dem Vergleichen verschiedener Modellvarianten erwartet (siehe #3). Hierbei ist insbesondere zu unterscheiden, welche Veränderungen für anschließende Prüfroutinen von Relevanz sind und demnach zu detektieren sind. Unter der Annahme, dass Objekte stabile ID-Kennzeichen über alle Modellversionen tragen, ist ein Abgleich entfernter und hinzugefügter Objekte in einem Modell als verhältnismäßig einfache Aufgabe einzustufen. Wird hingegen gefordert, dass auch Veränderungen eines Objektes über verschiedene Modellversionen hinweg analysiert werden sollen, sind weitaus umfangreichere Fragestellungen zu untersuchen, die sowohl die getroffenen ingenieurmäßigen Entscheidungen als auch deren datentechnische Behandlung betreffen.

Moderne BIM-Werkzeuge bieten heutzutage bereits diverse Methoden an, verschiedene Modelle miteinander zu vergleichen. Dies geschieht in der Regel entweder auf der Annahme stabiler ID-Kennzeichen oder auf geometrischen Verfahren (beispielsweise Unveränderte Positionierung eines Objekts im Raum, geometrische Überlagerung). Die Entwicklung gesamtheitlicher Ansätze, die für verschiedene Datenmodelle zum Einsatz kommen können, sind aber nach wie vor Gegenstand aktueller Forschung, deren Ergebnisse mittelfristig aber ebenfalls Einzug in verschiedene Analyse- und Simulationswerkzeuge finden werden.

4.4 Auswahl der Prüfroutinen für die prototypische Untersuchung

Aus den vorangegangenen Erläuterungen und den begleitenden Kommentaren in Anlage 07 wird ersichtlich, dass die Bewertung der Prüfroutinen mehreren Faktoren mit Unsicherheiten unterworfen ist. Insbesondere ist aber zu erwarten, dass die Erfahrung mit BIM-Technologien bei allen Akteurinnen und Akteuren zunehmend steigen wird. Daher sind die derzeitigen Einschätzungen der Aufwände und des Nutzens als Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Berichterlegung zu verstehen. Diese können sich in Zukunft mit Fortschritten in verfügbaren Technologien und Standardisierungen verändern.

Die Autoren des Berichts gehen dennoch davon aus, dass die vorgeschlagene Bewertungsmetrik eine hinreichend ausdrucksstarke Bewertungsgrundlage für die folgende prototypische Umsetzung einzelner Routinen ist. Weiterhin ist anzunehmen, dass mit weiterem Kompetenzzugewinn im Bereich BIM-basierter Verfahren innerhalb des EBAs zukünftig bessere Abschätzungen und Ziele definiert werden können.

Aus technischer Sicht sind bei den in Tabelle 6 aufgeführten Prüfroutinen aus technischer Sicht Ähnlichkeiten in der Umsetzung zu erwarten:

TABELLE 6: IDENTIFIZIERTE ÄHNLICHKEITEN IN FRAGESTELLUNGEN ZUR TECHNISCHEN UMSETZUNG DER IDENTIFIZIERTEN PRÜFRROUTINEN

| Prüfroutinen | Technische Umsetzung |
|------------------------|--|
| #5, #6, #7 | Untersuchung von minimalen und maximalen Abständen zwischen Objekten, die in (verschiedenen) Fachmodellen an das EBA übergeben werden |
| #9, #10, #12, #13, #15 | Analyse, ob Objekte eines Modells innerhalb eines definierten Polygons liegen. Das begrenzende Polygon kann entweder in jedem Modell oder als eigenes Fachmodell vorgehalten werden In #10 erweitert sich die Fragestellung aus technischer Sicht um eine zusätzliche Klassifikation ausgewählter Flächen und Überlegungen, ob Objekte zwingend innerhalb oder außerhalb der Polygonzüge platziert sein müssen. |
| #1, #2, #8 | Überprüfung semantischer Informationen, die an einzelnen Objekten eines BIM-Modells angehängt sind. Zudem ist eine Überprüfung erforderlich, ob verlinkte Dokumente tatsächlich Bestandteil eines eingereichten Datensatzes sind |

Aus den erläuterten Einschätzungen und weiterem Input der Mitarbeitenden des EBA ergibt sich somit eine Priorisierung der Prüfroutinen gemäß Tabelle 7:

TABELLE 7: PRIORISIERTE PRÜFRROUTINEN FÜR DAS WEITERE VORGEHEN IN AP4

| NR. | BESCHREIBUNG | PRIORISIERUNG |
|-----|--|---------------|
| #1 | Vergleich der Menge der Stücke eines bestimmten Typs (z. B. OLA-Masten) in der Stückliste und der Menge der Stücke im Modell | 1 |

| | | |
|-----|---|---|
| #2 | Vergleich der eingereichten Kostenzusammenstellungen und der darin enthaltenen Mengen der einzelnen Sachanlagen mit dem Modell | 1 |
| #3 | Abgleich verschiedener Versionen der Modelle, wodurch sich Änderungen in der Planung und damit in den Kosten nachvollziehen lassen Angenommen wird die stabile Vergabe von Objekt-Ids, wobei einzelne Objekte in verschiedenen Modellen, mit verschiedenen Geometrirepräsentationen und mit verschiedenen Arten der Objektplatzierung enthalten sein können. | 2 |
| #9 | Prüfung der Grunderwerbsgrenzen, der erforderlichen Informationen zum Grunderwerb und bezogener Dokumente wie Grunderwerbsplan und Grunderwerbsverzeichnis | 1 |
| #10 | Prüfung der Schutzgebietsgrenzen auf Vollständigkeit und ob die betreffenden Flächen und Bereiche eingehalten werden | 1 |
| #12 | Prüfung der Planfeststellungsgrenzen im Modell auf Vollständigkeit und Konsistenz über mehrere Dokumente/Modelle hinweg. Detaillierte Betrachtung, ob die betreffenden Objekte wie z. B. Bauwerke innerhalb der Grenzen liegen | 1 |
| #13 | Abgleich der Informationen über die einzelnen Grundstücke im Grunderwerbsverzeichnis mit den entsprechenden Flächen im Modell | 1 |
| #15 | Abgleich der im Grunderwerbsverzeichnis vorhandenen Informationen mit den einzelnen Grundstücken im Modell und den dazugehörigen Informationen z.B. ob eine Zustimmungserklärung vorliegt | 1 |

Tabelle 8 listet identifizierte Routinen auf, die weiter untersucht werden, aber vorerst nicht priorisiert sind:

TABELLE 8: PRÜFRROUTINEN MIT NIEDRIGER PRIORITÄT FÜR DAS WEITERE VORGEHEN IN AP4

| Nr. | Beschreibung |
|-----|---|
| #4 | Abgleich der technischen Anforderungen des Projektumfangs in der Planung mit dem Modell, z. B. die Abstände zwischen den Bauteilen, der höchste und der tiefste Punkt |
| #5 | Abgleich der Einhaltung der technischen Regeln bezüglich des Lichtraumprofils, z. B. Höhe und Abstand vom Bahnsteig, mit dem Modell. Weitere Einzelheiten sind in RIL 800.0130 zu finden |
| #6 | Vergleich der Einhaltung der technischen Regeln zu den Fluchtwegen, z. B. lichte Höhe und Breite sowie Anzahl und Lage der Fluchtwege, mit dem Modell, vergleiche RIL 853, RIL 423 sowie EBA-Richtlinie "Tunnelbau" (Exzerpt an fälligen Prüfungen) |
| #7 | Abgleich der Einhaltung der technischen Regeln für Bahnsteige wie z. B. Höhe, Länge, Breite und Neigung der Fläche mit dem Modell, vergleiche RIL 813.0201 |
| #11 | Einbindung der Isophonenkarten und Ergebnisse in das Modell, Prüfung ob betreffenden Objekte, wie z. B. Lärmschutzwände sich an der richtigen Lage befinden |
| #17 | Abgleich der Kompensationshöhe und der Vorgaben der BKompV mit den Informationen, die mit dem Modell verknüpft sind, wie z. B. Schutzgüter Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Klima oder Luft, die erfasst und bewertet wurden |

TABELLE 9: IDENTIFIZIERTE PRÜFROUTINEN, DIE AUFGRUND DER DURCHGEFÜHRTEN EVALUATION VORERST NICHT WEITER BERÜCKSICHTIGT WERDEN

| Nr. | Beschreibung |
|-----|---|
| #8 | Abgleich aller relevanten Dokumente wie Verträge oder Belege, die auf dem BSCW hochgeladen wurden, auf Vollständigkeit durch deren Verknüpfung mit den entsprechenden Bauteilen der Modelle |
| #14 | <i>Detaillierung im Projektverlauf mit dem EBA</i> |
| #16 | Der Status der Prüfroutinen wird über das Modell an alle Beteiligten oder Abteilungen weitergegeben. Der Status kann als "Bestanden", "Nicht bestanden" oder als Beschreibung angegeben werden, wenn "Bestanden" oder "Nicht bestanden" nicht die richtige Bewertungsmethode ist. |

Die in Prüfroutine #8 angesprochene Vollständigkeit eingereicherter Unterlagen, sowie deren Verknüpfung kann durch die Definition geeigneter Container-Strukturen abgesichert werden. Die prototypische Implementierung einer solchen Struktur wird für AP 4 vorgesehen, sodass von einer expliziten Untersuchung von Prüfroutine #8 abgesehen wird. Die generelle Notwendigkeit vollständiger Antragsunterlagen wird dadurch aber nicht in Frage gestellt.

Prüfroutine #16 wird implizit in allen anderen Routinen berücksichtigt und weist vor allem administrativen Charakter auf. Der Informationsfluss innerhalb des EBA wird als wesentliches Instrument für die erfolgreiche Einführung modellbasierter Prüfroutinen eingestuft.

4.5 Zwischenfazit

Insgesamt lässt die durchgeführte Evaluation eine Umsetzung der priorisierten Prüfroutinen erwarten. Zusätzlich konnten Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Routinen erkannt werden, aus welchen sich verschiedene Grundoperationen zur modellbasierten Prüfung von Schieneninfrastrukturanlagen ableiten lassen. Zu diesen gehören neben der Überprüfung semantischer Informationen eine Reihe an geometrischen Überlegungen wie die Berechnung minimaler Abstände zwischen verschiedenen Objekten oder der Ermittlung von Überschneidungen verschiedener Begrenzungen (z. B., Grundstücksgrenzen, Biotope, etc.).

Darüber hinaus zeigte sowohl die Identifikation als auch die Bewertung der Prüfroutinen auf, dass neben der dezidierten Umsetzung einzelner Routinen die Frage zur Anwendbarkeit und Nutzeridentifikation von Bedeutung ist, um die Prüfroutinen innerhalb der Geschäftsprozesse des EBAs zu verankern.

Daher wurden im Rahmen der prototypischen Umsetzung ebenfalls erste Funktionen entwickelt, welche Möglichkeiten zur Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen EBA und Antragsstellenden sowie innerhalb des EBAs berücksichtigen. Darunter fallen Dateien mit den Prüfergebnissen als BCF oder Portable Document Format (PDF), die an die DB AG geleitet werden können. Dabei ist zu beachten, dass eine gesonderte Version des Datenmodells zur Prüfung vorliegen muss, in welcher die Mängel und Prüfergebnisse dokumentiert werden. Nach der Kommunikation der Ergebnisse soll eine korrigierte Version durch die DB AG erstellt werden und zur erneuten Prüfung an die Behörde weitergeleitet werden. Die Basis für solch einen Prozess könnte die gemeinsame CDE des FBA und des EBA darstellen, welche zusammen mit dem ITZ Bund entwickelt wird. Gemeinsam mit der Umsetzung der Routinen konnte hierauf aufbauend Aussagen über die eingesetzten Funktionalitäten und notwendigen Routinen getroffen werden. Diese Erkenntnisse können wiederum für die Auswahl von Softwareprodukten, die zukünftig in Prozessen des EBA eingesetzt werden könnten, aufgegriffen werden.

5 Prototypische Umsetzung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Grundlagen der automatisierten Prüfung mithilfe von Prüfroutinen erläutert und in Zusammenarbeit mit dem EBA mögliche Prüfroutinen identifiziert, die als vielversprechend für modellbasierte Prüfverfahren angesehen werden. Anschließend wurde ein konkretes Bewertungsverfahren für die Umsetzung der identifizierten Prüfroutinen beschrieben. Das Ergebnis ist eine Bewertungsmatrix, mit der die Prüfroutinen hinsichtlich des Aufwandes für die Implementierung und deren Nutzen für den Prüfprozess bewertet werden können.

Auf Grundlage dieser Bewertung wurden Prüfroutinen mit dem höchsten Nutzen bei einem korrespondierenden, niedrigen Aufwand identifiziert. Diese priorisierten Prüfroutinen werden softwaretechnisch umgesetzt und prototypisch an einem Demonstrator getestet. Dadurch soll deren Leistungsfähigkeit getestet werden. Darüber hinaus sollen die vorab getroffene Einschätzung hinterfragt sowie mögliche Lösungsansätze aufgezeigt werden.

Im Folgenden wird die prototypische Umsetzung der Prüfroutinen vorgestellt. Hierbei werden der Umfang und die Randbedingungen der prototypischen Umsetzung, das Vorgehen bei der Entwicklung der Prüfroutinen die Aufbereitung der Testdaten des Demonstrators sowie Ergebnisse der Umsetzung jeder einzelnen Prüfroutine vorgestellt.

Um die Umsetzung der Prüfroutinen für das EBA möglichst zeitnah zu ermöglichen, wurde auf gängige Programmprodukte und Daten zurückgegriffen, die ebenfalls im Bereich der Planung, Ausführung und dem Betrieb Einsatz finden. Durch dieses Vorgehen sollten Rückschlüsse darauf gezogen werden können, wie der Einsatz solcher Systeme erfolgen kann, sowie die Möglichkeit zur Erweiterung oder Weiterentwicklung der Prüfroutinen gegeben sein.

Bei der Entwicklung wurde darauf geachtet, möglichst viele Open-Source-Technologien und -Formate⁹ zu verwenden, um den Grad der Einschränkungen bei der Prüfung und Bewertung der Prüfroutinen zu reduzieren. Dies gilt auch für die Aufbereitung der Testdaten und des Demonstrators, wie z. B. die Bereitstellung der Fachmodelle im IFC-Format.

Bei den Daten, die zur Demonstration der umgesetzten Prüfroutinen verwendet werden, handelt es sich um Musterdaten aus einem Praxisprojekt. Die Daten wurden für die Verwendung im Forschungsprojekt anonymisiert, u. a. Streckennummer oder Namen des Projekts und personenbezogenen Daten (Autor etc.). Für die Prüfung von bestehenden Zustimmungserklärungen wurden fiktive Dokumente erstellt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Anonymisierung bestimmter Daten keine Auswirkungen auf das Ergebnis oder die Funktionalität der Prüfroutinen hat.

Die für diese Prüfroutinen entwickelten Benutzeroberflächen (engl.: User Interface (UI)) ermöglichen es den Mitarbeitenden des EBA, mit den Prüfroutinen zu interagieren und Daten in die Prüfroutinen einzugeben. Die Benutzeroberflächen wurden so gestaltet, dass sie intuitiv und benutzerfreundlich sind und der Benutzerin oder dem Benutzer ein Vorgehen zur Verwendung von exemplarischen Prüfroutinen aufzeigen. Hierbei ist zu beachten, dass einige der Terminologien, Benennungen, Symbole und Formen, die in den prototypischen Benutzeroberflächen verwendet werden, möglicherweise noch nicht mit dem von des EBA verwendeten Code oder der Art und Weise, wie die verschiedenen Abteilungen intern Informationen kommunizieren, übereinstimmen. Ziel war es einen Prototyp hinsichtlich der Funktionalitäten zu entwerfen und zu testen. Die Benutzeroberflächen können jedoch in begrenztem Umfang bearbeitet

⁹ Weitere Informationen unter https://www.cio.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/CIO/DE/digitaler-wandel/architekturen-standard/Architekturrichtlinie_techn_Anhang.pdf (geöffnet am 12. Mai 2023)

werden, wenn spezifische Eingaben gemacht werden. Die Benutzeroberflächen ermöglichen es der Benutzerin oder dem Benutzer auch, bestimmte Aspekte des Prüfprozesses anzupassen, z. B. die Auswahl bestimmter zu testender Datensätze. Darüber hinaus bieten die Benutzeroberflächen eine visuelle Darstellung der Prüfergebnisse, sodass die Benutzerin oder der Benutzer Probleme oder Anomalien schnell und einfach identifizieren kann.

Bei der Entwicklung wurde davon ausgegangen, dass der ICDD-Container die Liefermethode für die Unterlagen ist. Daher basiert eine der entwickelten Prüfroutinen auf dem Liefercontainer selbst, nämlich die Prüfung der Vollständigkeit der gelieferten Unterlagen. Daher führt eine Änderung der Dokumentliefermethode während des Testens der Prüfroutinen zu Fehlfunktionen in den Prüfroutinen.

Schließlich wurde für den Prototyp die Option gewählt, dass die Prüfkommentare im BCF zur internen Kommunikation oder zur Korrektur des Datenmodells an den Vorhabensträger weitergegeben werden können (z. B. über eine CDE, die eine Datensicherheit garantiert). Dieses Format wurde aufgrund seiner Fähigkeit ausgewählt, eine visuelle Kommunikation von Problemen und Kommentaren im Zusammenhang mit BIM-Modellen zu ermöglichen. BCF erleichtert auch die Kommunikation durch die Zuweisung von Verantwortlichkeiten und Aufgaben, die Festlegung von Prioritäten und die Überprüfung, wann Issues gelöst sind. Die Prüfroutinen sind so konzipiert, dass die generierten BCF-Dateien der BCF-Spezifikation entsprechen, sodass sie von allen am Prüfprozess beteiligten Parteien leicht ausgetauscht und verwendet werden können.

Das Vorgehen zur programmtechnischen Umsetzung der Prüfroutinen sowie die bei der Umsetzung der zehn Prüfroutinen identifizierten Ergebnisse werden nachfolgend beschrieben.

Abschließend werden im Rahmen der Ausarbeitung identifizierte Maßnahmen im Sinne einer Handlungsempfehlung im Abschnitt 6 beschrieben, die zur Implementierung von modellbasierten Genehmigungsprozessen erforderlich sind.

5.1 Programmtechnische Umsetzung

Als Programmumgebung für die Umsetzung der Prüfroutinen wurde die Umgebung DESITE BIM md verwendet aufgrund der Marktrelevanz des Programms und der weitreichenden Programmierschnittstelle (siehe Kapitel 2.7.4). Die Prüfroutinen wurden primär über die innerhalb des Programms vorhandenen Grundfunktionen abgebildet. Sofern diese für eine Entwicklung nicht ausreichend waren, wurden auf das API zurückgegriffen, um den Funktionsumfang zu erweitern und die gewünschte Funktionalität bestmöglich abzudecken.

Die Programmiersprache für den Zugriff auf die API sowie die Hinterlegung von Skripten in den DESITE BIM md Grundfunktionen ist JavaScript. Zur Erstellung von Benutzeroberflächen wurden Hyper Text Markup Language (HTML) und Cascading Style Sheets (CSS) verwendet, die in der Formularumgebung der Software dargestellt werden können. HTML liefert die Grundstruktur der Schnittstellen und definiert die Elemente der Schnittstellen, z. B. Tasten, Textfelder und Dropdown-Menüs. CSS wird dann verwendet, um diese Elemente zu formatieren, z. B. um ihre Farben, Größen und Position auf der Seite zu definieren. Durch die Verwendung von CSS war es auch möglich, das Aussehen der Elemente zu ändern, ohne den HTML-Code ändern zu müssen. Darüber hinaus wurden die Benutzeroberflächen nach einer einheitlichen Prüfstruktur aufgebaut und wichtige Prüfprozesselemente, die die Nutzerin oder der Nutzer bedienen muss, farblich hervorgehoben. Diese Entwicklung ist mit der Webentwicklung vergleichbar, welche identische Programmiersprachen für die Erstellung von Oberflächen verwendet.

Um die Übersichtlichkeit zu verbessern und die Nutzung der Prüfroutinen zu erleichtern, wurden mehrere Benutzeroberflächen entwickelt. Die Hauptbenutzeroberfläche dient als Startseite und erlaubt der Nutzerin oder dem Nutzer die Navigation zu einzelnen Prüfroutinen. Darüber hinaus stellt sie vereinfacht grundlegende Benutzer- und Projektdetails, wie den Benutzernamen und die Vorhabensbezeichnung, sowie eine Auflistung aller verfügbaren Prüfroutinen einschließlich ihres jeweiligen Prüfstatus zur Verfügung. Zusätzlich können Prüfroutinen gesperrt werden, sodass diese nur für bestimmte Anwenderinnen und Anwender ausführbar sind. Die Benutzeroberfläche der Startseite ist in Abbildung 22 dargestellt.



Abbildung 22: Benutzeroberfläche der Startseite der entwickelten Prüfroutinen

In Bezug auf den Status der Prüfroutine weist das Programm automatisch einen Status zu, der auf dem Ergebnis der einzelnen Routine basiert. Um der Komplexität des Prüfverfahrens zu begegnen und Flexibilität bei der Ergebniserstellung zu ermöglichen, wurde jedoch eine Überschreibfunktion implementiert. Diese Funktion ermöglicht es den Expertinnen und Experten, das Ergebnis der Prüfroutine zu beeinflussen und einen bestimmten Status zuzuweisen, unabhängig von dem vom Programm automatisch generierten Status. Der Status der Prüfroutine kann eine von vier Kategorien sein. Die erste Kategorie ist "bestanden", was bedeutet, dass die Prüfroutine erfolgreich abgeschlossen wurde und mit einem grünen

Punkt gekennzeichnet ist. Dieser Status kann vom Programm oder von einer Expertin oder einem Experten vergeben werden. Die zweite Kategorie ist "weitere Eingabe erforderlich", die ausgelöst werden kann, wenn ein Schritt der Prüfroutine nicht erfolgreich ausgeführt wurde oder Informationen fehlen. In der zweiten Kategorie wird die Prüfroutine mit einem gelben Punkt gekennzeichnet. Die dritte Kategorie ist "nicht bestanden", was bedeutet, dass die Ergebnisse der Prüfroutine nicht erfolgreich waren, weil kritische Daten fehlten oder kritische Fehler auftraten. Dieser Status wird vom Programm automatisch vergeben, kann aber auch von einer Expertin oder einem Experten vergeben werden. Die vierte und letzte Kategorie ist, wenn die Prüfroutine nicht ausgeführt wurde und kein Status zugewiesen wurde. In diesem Fall wird die Prüfroutine mit einem grauen Punkt gekennzeichnet, was der Standardstatus für alle Prüfroutinen beim Start eines neuen Projekts ist. Es ist wichtig zu beachten, dass dieser Status im Gegensatz zu anderen nicht von der Benutzerin oder vom Benutzer beeinflusst werden kann.

Bei der Entwicklung der Benutzeroberflächen für die einzelnen Prüfroutinen wurde eine individuelle Struktur nach einheitlichen Vorgaben implementiert, um die Benutzereingaben zu erfassen und die Ergebnisse zu speichern. Die Benutzeroberflächen für die einzelnen Prüfroutinen unterscheiden sich je nach den verwendeten Daten und Eingabemethoden, unabhängig davon, ob es sich um die Auswahl von Elementen, das Hochladen von Dateien oder die Eingabe von Werten handelt. Die einzelnen Schritte oder Elemente innerhalb einer Prüfroutine unterliegen dem gleichen Status wie oben beschrieben. Das endgültige automatisch generierte Ergebnis einer Prüfroutine wird durch die Gesamtergebnisse der einzelnen Schritte bzw. Elemente bestimmt.

Angesichts der Vielfalt der möglichen Status ist es wichtig, der Anwenderin oder dem Anwender die Möglichkeit zu geben, Entscheidungen zu erläutern oder bestimmte Punkte hervorzuheben. Um dies zu erleichtern, ist allen prototypischen Prüfroutinen sowie den einzelnen Schritten bzw. Elementen ein Kommentarbereich zugeordnet, in dem sich die Benutzerinnen und Benutzer zwischen Mitarbeitenden oder Abteilungen über die Prüfroutinen und deren Ergebnisse austauschen können, wenn dies gefragt ist. Abbildung 23 zeigt beispielhaft die Benutzeroberfläche der Prüfroutine "Grunderwerbsverzeichnis".

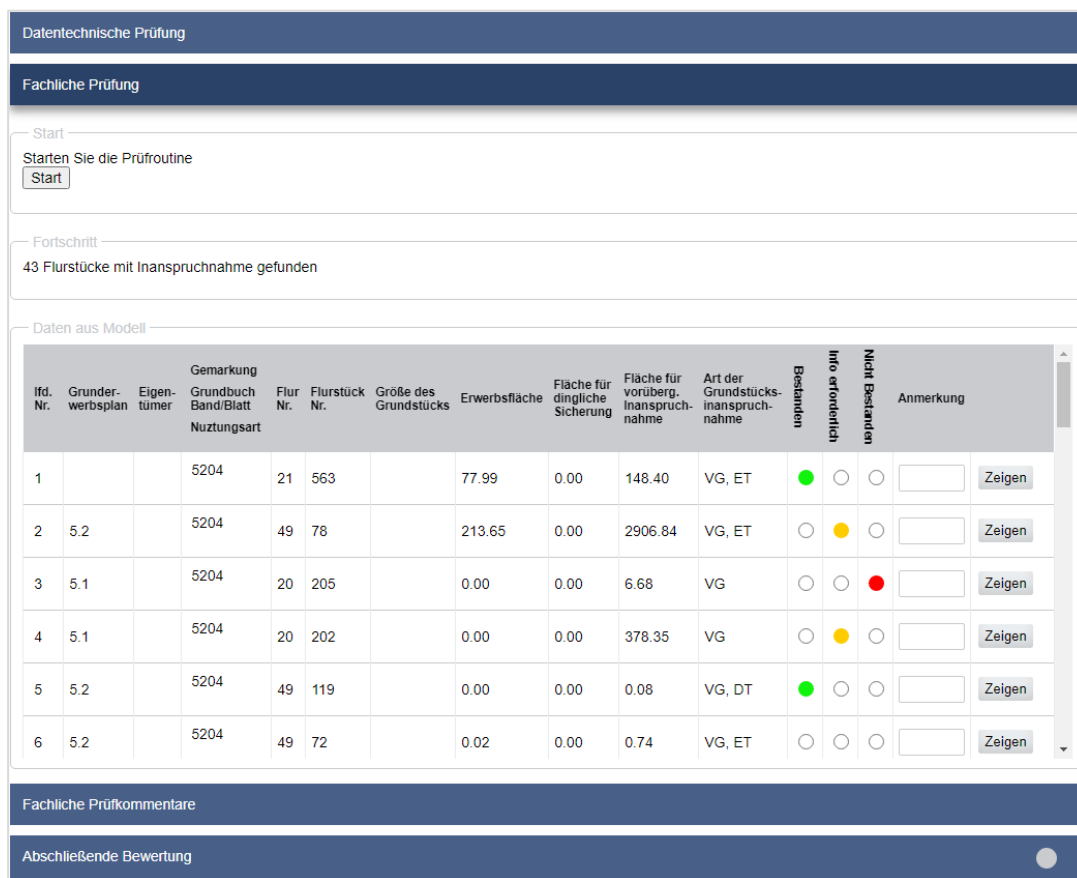


Abbildung 23: Darstellung der Benutzeroberfläche der Prüfroutine "Grunderwerbsverzeichnis"

Durch dieses Vorgehen wird der Prüfprozess teilautomatisiert und das Verfahren nicht zur „Blackbox“, da die Nutzerin oder der Nutzer bei der Erstellung des Prüfergebnisses korrigierend eingreifen kann. Bei Bedarf kann dieses Vorgehen in Zukunft angepasst werden, um z. B. eine höhere Automatisierbarkeit zu ermöglichen.

5.2 Dokumentation der Prüfroutinen


Zur Dokumentation der entwickelten Prüfroutinen wurden zwei Dokumentationsformen gewählt. Zum einen wurde ein Steckbrief erstellt, der die wesentlichen Informationen über die Prüfroutine beschreibt. Bei der Erstellung der Steckbriefe wurde sich an der beim Masterplan BIM Bundesfernstraßen (Petersen et.al, 2021) erarbeiteten Vorgehensweise orientiert.

Die Steckbriefe bestehen aus mehreren Abschnitten, die die Prüfroutinen beschreiben und wesentliche Informationen wie Zweck, Funktionen und zu beachtende Richtlinien enthalten. Abbildung 24 zeigt ein Beispiel für den Steckbrief einer Prüfroutine. Die erstellten Steckbriefe enthalten folgende Abschnitte:

- **Kopfzeile:** Die Kopfzeile des Steckbriefs enthält den Namen der Prüfroutine sowie Informationen über den BIM-Anwendungsfall, dem die Prüfroutine zugeordnet ist.
- **Beschreibung:** Beschreibt kurz den Zweck und die Funktionsweise der Prüfroutine, um ein Grundverständnis zu gewährleisten.

- *Voraussetzungen*: Dieser Abschnitt beschreibt die spezifischen Anforderungen und notwendigen Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, bevor mit der Implementierung des Prüfverfahrens begonnen werden kann.
- *Input*: Dieser Punkt enthält eine Liste der relevanten Daten, Modelle und Formate, die als Input für eine erfolgreiche Ausführung der Prüfroutine benötigt werden.
- *Output*: Dieser Abschnitt beschreibt die Daten, Informationen und Formate, die das Ergebnis der Prüfroutine darstellen.
- *Berücksichtigte Regelwerke und Normen*: Ein Teil der Testroutine hängt von Werten oder Regeln ab, die in bestimmten Gesetzen, Normen und Regelwerken festgelegt sind. Dieser Abschnitt listet die Gesetze und Richtlinien auf, die für die Prüfroutine relevant sind.
- *Level of Information Need (LOIN)*: Beschreibt, welche Informationen in welchem Detaillierungsgrad zu einem bestimmten Zeitpunkt im Projektverlauf benötigt werden. Die in diesem Forschungsprojekt verwendete LOIN ist die von der DB definierte SOM 2.0. Zukünftig kann das EBA einen eigenen LOIN definieren, der die für die Prüfprozesse notwendigen Informationen enthält.
- *Umsetzung*: In diesem Abschnitt wird die Konfiguration und Umsetzung der Prüfroutine anhand von Beispielen aus dem als Demonstrator dienenden Beispielprojekt dargestellt, siehe Abschnitt 5.3. Dazu werden Screenshots und kurze Erläuterungen verwendet, um die Anwendung grafisch und schriftlich darzustellen.
- *Ergebnis*: In diesem Abschnitt wird die Darstellung der Ergebnisse der Prüfroutine in den Benutzeroberflächen sowie im Prüfprogramm veranschaulicht. Dazu werden Screenshots und kurze Erläuterungen verwendet, um die Anwendung grafisch und schriftlich darzustellen.
- *Prozessdiagramm*: Hier wird das Prozessdiagramm der Prüfroutine dargestellt, um einen Schritt-für-Schritt-Überblick über jede Prüfroutine zu geben. Es kann auch verwendet werden, um mögliche Probleme oder Engpässe im Prüfprozess zu identifizieren.
- *Weitere Unterlagen*: Hier werden weitere Dokumente aufgelistet, die benötigt werden, wie z. B. die Dokumentation einer Software oder eine Zertifizierung in einem bestimmten Bereich oder für eine bestimmte Software.
- *Bewertung*: Dies ist ein Diagramm, das die Bewertung der Prüfroutine anhand der in Kapitel 4 entwickelten Kriterien und der Bewertungsmatrix veranschaulicht.

Die erstellten Steckbriefe der einzelnen entwickelten Prüfroutinen finden sich in Anhang 08.


Eisenbahn-Bundesamt

Steckbrief für Prüfroutinen

| Nr. | Anwendungsfall |
|---------|---|
| 090.002 | Genehmigungsprozess <i>Stückliste Validieren</i> |

Beschreibung

Zweck der Prüfroutine ist die Validierung einer gegebenen Stückliste. Dies erfolgt, indem man die Objekte eines Koordinationsmodells hinsichtlich den Merkmalsausprägungen eines festzulegenden Sortierattributs gruppiert und mit den Angaben der Stückliste vergleicht.

Voraussetzungen

Für die Umsetzung der Prüfroutine sind folgende Voraussetzungen erforderlich:

- Stückliste mit konsistenter Namensvergabe.
- Geeignete Koordinationssoftware, die mit den richtigen Funktionen für die Prüfung ausgestattet ist, entweder native oder entwickelte Funktionen.
- Zu prüfende BIM-Fachmodelle mit konsistenter Namensvergabe und Element-IDs und einer sinnvollen Attribuierung.

Input

Folgende Informationen werden zur Umsetzung der Prüfroutine benötigt:

- Attribuiertes BIM-Fachmodell im IFC-Format, welches das Merkmal enthält, nach dem die Stückliste aufgebaut werden soll
- Die Stückliste, die validiert werden soll (Ausdruck, pdf, xml), zum händischen Abgleich

Output

- Tabellarische Auflistung der Daten aus dem Modell zum Vergleich mit dem physischen Dokument
- Dokumentation der Ergebnisse im BCF-Format mit Ansichtspunkten für jedes fehlerhafte Stücklistenelement

Abbildung 24: Seitenauszug aus dem Steckbrief Stückliste Validieren (siehe Anhang 08)

5.3 Demonstrator

Um die entwickelten Prüfroutinen praxisnah bewerten zu können, wurde ein Demonstrator entwickelt. Hierbei wurde es als zielführend betrachtet, möglichst reale Planungsdaten aus BIM Projekten für die Demonstration zu verwenden. Hierzu wurden durch die DB AG Modelle und ergänzende Projektdaten aus einem Realprojekt zur Verfügung gestellt. Einige Teile der Daten wurden neutralisiert oder ausgeblendet, um u. a. private oder vertrauliche Informationen zu schützen.

Der Demonstrator sollte das Szenario Datencontainer für die zukünftige Bereitstellung simulieren. Daher wurde als Austauschbasis der Daten ein ICDD-Container formuliert, um die Datenübergabe zwischen EBA und Antragsteller strukturiert gestalten zu können und die Vollständigkeit der Eingangsdaten am Übergabepunkt bewerten zu können.

Durch Öffnen des ICDD-Containers entsteht in der Programmumgebung ein BIM-Koordinationsmodell, die vorhandenen Fachmodelle, 2D-Zeichnungen und Dokumente enthält und verarbeiten lässt. Nachfolgend werden die zugrundeliegenden Anforderungen, Namenskonvention und die Erstellung des ICDD-Containers beschrieben.

5.3.1 Koordinationsmodell und Informationscontainer

Das Koordinationsmodell sowie der Informationscontainer enthält repräsentativen Daten für einen zukünftigen modellbasierten Genehmigungsprozess. Es wurden hierbei offene Datenformate gewählt, welche eine herstellerneutrale und softwareunabhängige Weiterverarbeitung ermöglichen. Hierzu zählen:

- Fachmodelle als IFC
- 2D-Modelle in Form von Drawing (DWG) oder Drawing Exchange Format (DXF)
- Orthofotos in Form von Joint Photographic Experts Group (JPG)
- Trassen in Form von XML
- Kosten im GAEB-Format
- Beispielverträge als PDF

Die Liste der Modelle und Dokumente kann in Gruppen gegliedert werden, nämlich Basisdaten, Konstruktiver Ingenieurbau (KIB) sowohl vorhanden als auch geplant, Verkehrsanlagen sowohl vorhanden als auch geplant, Sonderplanung sowie Modelle, die für die Prüfroutinen erstellt wurden. Die Gruppierung der Modelle und Dokumente ergibt sich aus dem ursprünglichen Projekt und basiert auf den Erfahrungen des verantwortlichen BIM-Koordinators. In Tabelle 10 sind diese Gruppen und die ihnen zugeordneten Modelle aufgelistet.

TABELLE 10: LISTE DER GRUPPIERTEN FACHMODELLE UND IHRER FORMATE

| Nr. | Model | Format | Nr. | Model | Format |
|------------------------|---------------------|--------|---|---------------------------|--------|
| Grundlagendaten | | | 14 | Oberbau | IFC |
| 1 | Lageplan | DWG | 15 | Lichtraum | IFC |
| 2 | Orthophotos | JPG | 16 | Lärmschutzwand | IFC |
| 3 | Gebäude | DXF | 17 | Erdabtrag | IFC |
| 4 | Katasterplan | DXF | 18 | Erdauftrag Teil 1 | IFC |
| 5 | Bäume | IFC | 19 | Erdauftrag Teil 2 | IFC |
| 6 | Leitungsplan | DWG | 20 | Trasse | XML |
| 7 | Leitungen EÜ Muster | IFC | Son. Fachplanung | | |
| KIB | | | 21 | OLA Bestand | IFC |
| 8 | EÜ Muster Bestand | IFC | 22 | OLA Planung | IFC |
| KIB P | | | 23 | Lageplan OLA | DWG |
| 9 | EÜ Muster Planung | IFC | 24 | LST Bestand | IFC |
| VA | | | 25 | LST Planung | IFC |
| 10 | EÜ Muster Straße | IFC | 26 | Lageplan LST | DWG |
| 11 | EÜ Muster Trasse | XML | Erforderlich für die Prüfroutine | | |
| VA P | | | 27 | Planfeststellungsgrenze | IFC |
| 12 | DGM Planung | DWG | 28 | Grunderwerbsplan-Kataster | IFC |

Die oben genannten Fachmodelle wurden kombiniert, um das Koordinationsmodell im Prüfprogramm zu erstellen. Abbildung 25 zeigt eine Ansicht des Koordinationsmodells.

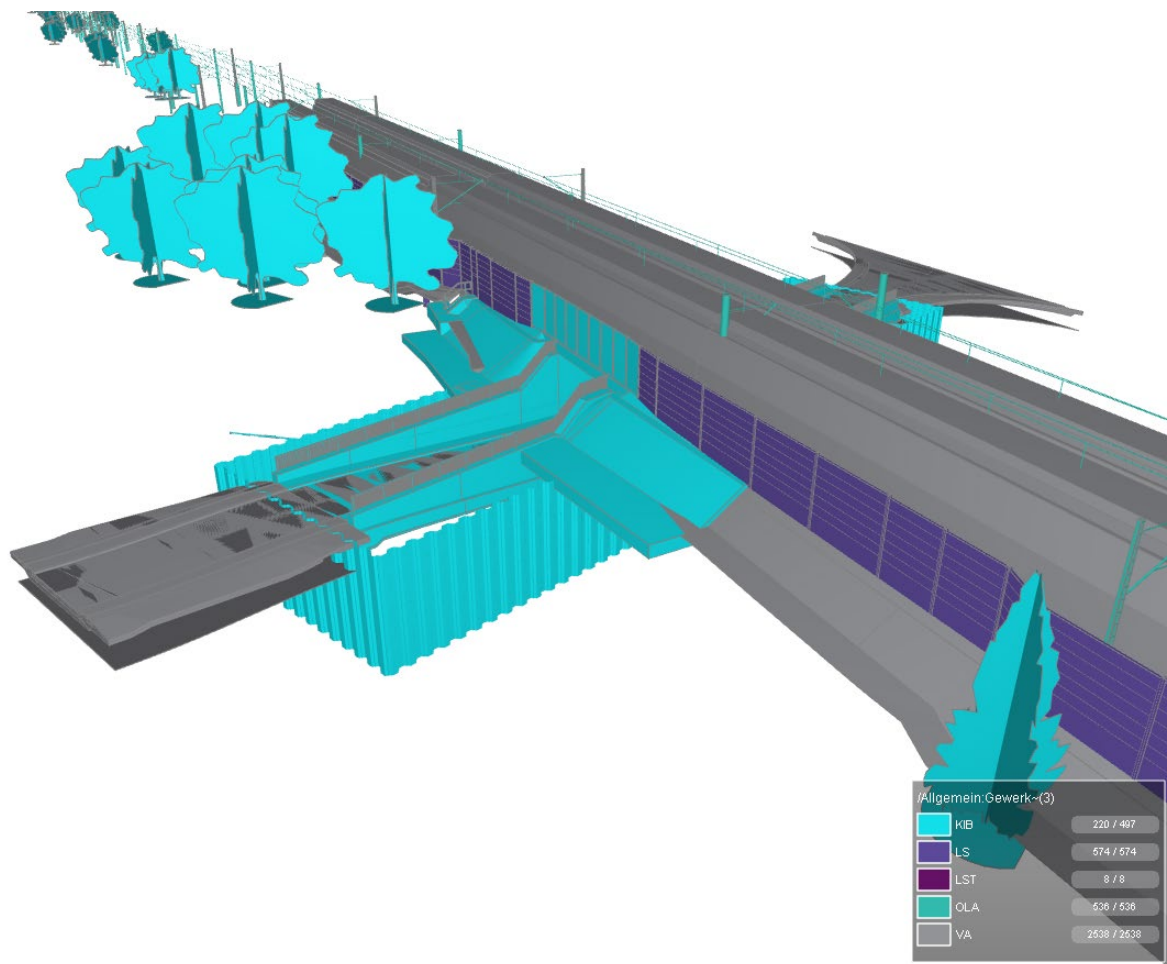


Abbildung 25: Ansicht des erstellten Koordinationsmodells im Prüfprogramm

Weitere Dokumente, die zusammen mit den technischen Modellen geliefert werden müssen, sind die Kostendaten und die Verträge für die Grundstücke, die in Anspruch genommen werden. Für die Lieferung der relevanten Daten an das Projekt ist die Erstellung eines ICDD-Containers erforderlich. Hierzu wird die von der Universität Bochum entwickelte RUB-ICDD-Plattform¹⁰ verwendet. Der ICDD-Container ist ein fortschrittliches und komplexes Verfahren zur gemeinsamen Nutzung und Verwaltung von vernetzten Daten. Die Umsetzung erfolgte im Prozess für das Demonstrationsprojekt. Für eine umfangreiche Einbindung von ICDD-Containern im EBA ist eine umfangreiche Spezifizierung des Formats für beliebige Lieferanforderungen erforderlich sowie eine Integration in die Systeme des EBAs vorzusehen.

¹⁰ Verfügbar unter <https://icdd.vm.rub.de/dev01> (letzter Zugriff am 15.05.2023)

5.3.2 Dateinamenskonvention

Um die Benennung der Fachmodelle zu vereinheitlichen, wurde eine Namenskonvention erarbeitet. Dies stellt sicher, dass relevante Informationen auf Dateiebene identifiziert werden können und im Sinne einer Eingangsprüfung bewertet werden können. Durch die Namenskonvention können inkonsistente oder unklare Benennungen vermieden werden. Zusätzlich wird die Orientierung der Anwenderin oder des Anwenders im Sinne einer Navigation durch die Projektdaten erleichtert.

Die definierte Namenskonvention orientiert sich an den Vorgaben der DB AG und definiert anhand von 11 Ebenen die Eigenschaften der Daten. Die einzelnen Felder des Dateinamens werden durch einen Unterstrich getrennt. Abbildung 26 zeigt die Struktur der für das Demonstrationsprojekt definierten Namenskonvention.

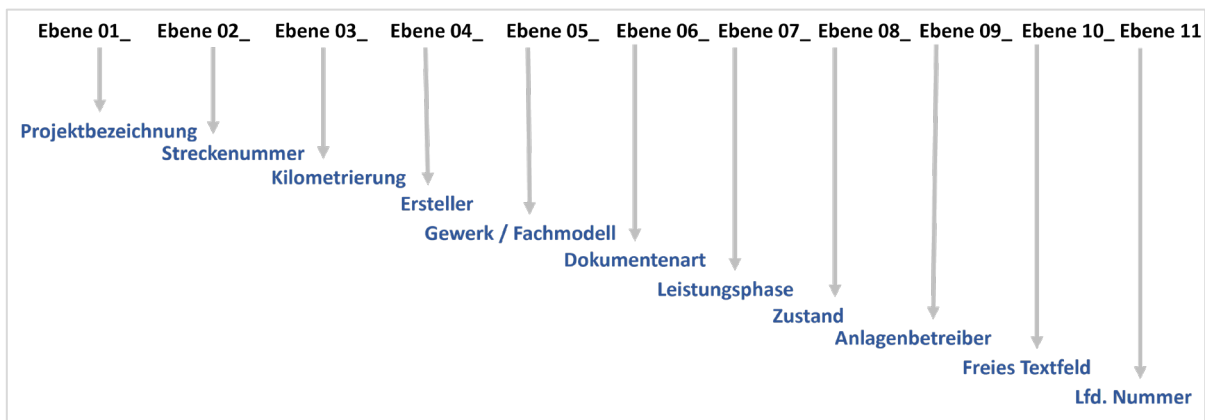


Abbildung 26: Struktur der definierten Namenskonvention (siehe Anhang 11)

Um den Prozess der Benennung der Fachmodelle zu optimieren, wird eine dynamische Tabelle zur Generierung der Modellnamen erstellt. Diese Tabelle wird zusammen mit diesem Bericht als Anhang 11 zur Verfügung gestellt. Die erstellte Tabelle enthält auch die Benennung, die alle möglichen Werte für jede Ebene auflistet.

Die endgültige Liste der Fachmodelle auf der Grundlage der Namenskonvention ist in Tabelle 11 aufgeführt.

TABELLE 11: NAMEN DER ÜBER DEN INFORMATIONSCONTAINER BEREITGESTELLTEN DATEN

| Nr. | Dateiname |
|-----|--|
| 1 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_2D_4_B_DBN_Lageplan_001.dwg |
| 2 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_2D_4_B_DBN_Orthofoto_002.jpg |
| 3 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_3D_4_B_DBN_Gebäude_003.dxf |
| 4 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_2D_4_B_DBN_Katasterplan_004.dxf |
| 5 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_3D_4_B_DBN_Bäume_005.ifc |
| 6 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_2D_4_B_DBN_Leitung-Plan_006.dwg |
| 7 | MBSPEBA_9999_xxxxxx_AG_xxx_3D_4_B_DBN_Leitungen-EÜM_007.ifc |
| 8 | MBSPEBA_9999_171815_AN_KIB_3D_4_B_DBN_EÜMuster_008.ifc |
| 9 | MBSPEBA_9999_171815_AN_KIB_3D_4_P_DBN_EÜMuster_009.ifc |
| 10 | MBSPEBA_9999_171815_AN_VA_3D_4_P_DBN_Straße_010.ifc |
| 11 | MBSPEBA_9999_171815_AN_VA_3D_4_P_DBN_EÜMuster-Trasse_011.xml |

| Nr. | Dateiname |
|-----|---|
| 12 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_2D_4_P_DBN_DGM-Planung_012.dwg |
| 13 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_DGM_013.ifc |
| 14 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_Oberbau_014.ifc |
| 15 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_Lichtraum_015.ifc |
| 16 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_LS_3D_4_P_DBN_LSW_016.ifc |
| 17 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_Erdabtrag_017.ifc |
| 18 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_Erdauftrag_1_018.ifc |
| 19 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_Erdauftrag_2_019.ifc |
| 20 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_VA_3D_4_P_DBN_Trasse_020.xml |
| 21 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_OLA_3D_4_P_DBN_XXX_021.ifc |
| 22 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_OLA_3D_4_B_DBN_XXX_022.ifc |
| 23 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_OLA_2D_4_P_DBN_Lageplan_023.dwg |
| 24 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_LST_3D_4_P_DBN_XXX_024.ifc |
| 25 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_LST_3D_4_B_DBN_XXX_025.ifc |
| 26 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_LST_2D_4_P_DBN_Lageplan_026.dwg |
| 27 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_XXX_3D_4_X_DBN_Planfeststellungsgrenze_027.ifc |
| 28 | MBSPEBA_9999_XXXXXX_AN_XXX_2D_4_X_DBN_Grunderwerbsplan-Kataster_028.dwg |

5.4 Ergebnis und Kommunikation

Die Implementierung der prototypisch entwickelten Prüfroutinen mit realen Daten lieferte wertvolle Erkenntnisse über die Effizienz der Automatisierung durch BIM. Diese Erkenntnisse geben dem EBA einen genaueren Einblick und eine realistische Einschätzung des Automatisierungspotenzials der Prüfroutinen. Daher widmet sich dieser Abschnitt der Diskussion der Gesamtergebnisse der entwickelten Prüfroutinen, ihrer Einschränkungen und einer Neubewertung auf der Grundlage der entwickelten Bewertungsmetriken (siehe Kapitel 4).

Das Ergebnis der Prüfroutinen wurden als interaktive Tabelle eingebunden. Hier kann ein Status definiert werden und Kommentare eingegeben werden. Auf der Grundlage der erstellten Tabelle können Issues für fehlerhafte Elemente sowie für Elemente, für die weitere Informationen erforderlich sind, zusammen mit einem Ansichtspunkt für die visuelle Darstellung des Issues erstellt werden. Diese Issues und Ansichtspunkte können im BCF-Format exportiert werden. Wenn die Ergebnisse einem Verantwortlichen in einem alternativen Format weitergeleitet werden soll, können die Ergebnisse auch als PDF-Dokument exportiert werden. Darüber hinaus kann ein Bericht bzw. eine Zusammenfassung aller Ergebnisse der Prüfroutinen erstellt und als PDF-Dokument exportiert werden. Der Bericht enthält wesentliche Informationen über das Projekt, wie z. B. den Projektnamen und die Projektnummer. Zusätzlich enthält der Bericht Informationen zu jeder Prüfroutine, wie z. B. den Status und die Mitarbeiterin oder den Mitarbeiter, der die Prüfroutine durchgeführt hat. Ein Beispiel für einen Bericht ist in Abbildung 27 dargestellt.


Eisenbahn-Bundesamt

Ergebnisbericht

MBSPEBA Musterbeispielprojekt

Ersteller*in: talwesabi
Datum: 15.5.2023, 14:42:10

Vollständigkeit der Antragsunterlagen

----- Keine Ergebnisse vorhanden -----

Stückliste validieren

| | | | |
|------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|
| Status: | Bestanden | Zuletzt geprüft von: | SWienholz |
| Anmerkung: | automatisch erfasste Bewertung | Zuletzt geprüft am: | 12.5.2023, 16:36:36 |

Abbildung 27: Beispiel für einen Ergebnisbericht der Prüfroutinen

Hinsichtlich der Bewertung werden nur die Endergebnisse der ursprünglichen und der aktuellen Bewertung dargestellt. Die Excel-Tabellen mit den entwickelten Kriterien und der Verteilung der Werte für die einzelnen Kriterien sind jedoch im Anhang 07 enthalten.

5.4.1 Prüfroutine 1: Vollständigkeit der Antragsunterlagen

Ziel der Prüfroutine ist es, die Vollständigkeit der Antragsunterlagen zu prüfen und den Container zu entpacken. Die Prüfung der Vollständigkeit erfolgt an einer zuvor definierten Liste, die mit der Auflistung der Containerelemente abgeglichen werden muss. Nur wenn die Unterlagen als vollständig bewertet und damit freigegeben werden, können sie im Prüfprogramm geladen und die Prüfung durchgeführt werden.

Die Prüfroutine ermöglicht zunächst die Auswahl der Anmeldungsunterlagen im ICDD-Format. Der ICDD-Container wird automatisch entpackt und die Unterlagen aufgelistet, sodass manuell überprüft werden kann, ob alle erforderlichen Dokumente und Modelle vorhanden sind. Außerdem kann geprüft werden, ob alle Dokumente oder Modelle den vereinbarten Dateinamenskonventionen entsprechen. Wird die Prüfroutine mit „vollständig“ bewertet, wird der Status der Prüfung auf „bestanden“ gesetzt und der Import der Dateien im Prüfprogramm bzw. der Aufbau des Koordinationsmodells freigegeben. Bei fehlenden Unterlagen oder Modellen können die Antragsunterlagen als „unvollständig“ bewertet werden, sodass die Prüfroutine als „nicht bestanden“ gewertet wird. In diesem Fall ist der Import der Antragsunterlagen im Prüfprogramm nicht möglich.

Die für den erfolgreichen Ablauf dieser Prüfroutine erforderliche Eingabe besteht im Wesentlichen aus den Antragsunterlagen im ICDD-Format und der notwendigen Angabe eines Pfades zu einem Speicherordner, in dem die Antragsunterlagen nach dem Entpacken gespeichert werden sollen. Die Ausführung der Prüfroutine führt zu entpackten Antragsunterlagen in dem angegebenen Ordner und zu einer Liste dieser Unterlagen zur Prüfung. Darüber hinaus führt die Annahme der aufgelisteten Dokumente zum Aufbau eines vollständigen Koordinationsmodells und ermöglicht es, die anderen Prüfroutinen zu verwenden.

Der aufgelistete Inhalt des ICDD-Containers muss manuell mit einer nicht maschinenlesbaren Liste, sei es in digitaler oder physischer Form, verglichen werden. Dies stellt eine Einschränkung für die vollständige Automatisierung der Prüfroutine dar. Außerdem muss der Pfad zum Entpacken der Antragsunterlagen manuell angegeben werden, weshalb das Risiko besteht, dass ein fehlerhafter Pfad angegeben wird. Derzeit ist es nicht möglich, den Pfad über den File Explorer auszuwählen.

Zukünftig könnte jedem ICDD-Container eine Liste der erforderlichen Dateien beigefügt werden, sodass die Vollständigkeitsprüfung automatisch auf der Grundlage dieser Liste durchgeführt wird. Darüber hinaus könnten weitere Funktionen des ICDD-Containers, wie Versionskontrolle und Beziehungen zwischen Dokumenten, implementiert werden. Solche Funktionen können die Automatisierung der Prüfroutine erhöhen und einen tieferen Einblick in die enthaltenen Dokumente ermöglichen.

Was die Bewertung der Prüfroutine betrifft, so ist es nicht möglich, eine realistische und genaue Schätzung des Aufwands und des Nutzens anhand der entwickelten Kriterien abzugeben, da es sich nicht um eine modellbasierte Prüfroutine handelt. Die Technologie der Informationscontainer ist abhängig von anderen Metriken wie Ontologien, Verknüpfungen zwischen Dokumenten und generell der Definitionstiefe des Containers. Es ist jedoch erwähnenswert, dass die weitere Erforschung der Technologie neue Möglichkeiten zur Überprüfung der Vollständigkeit von Dokumenten und des Informationsaustauschs im Allgemeinen eröffnen kann.

5.4.2 Prüfroutine 2: Stückliste Validieren

Der Zweck der Prüfroutine besteht darin, eine bestimmte Stückliste zu validieren. Dazu werden die Objekte eines Koordinationsmodells nach den Attributwerten eines zu definierenden Sortierattributs gruppiert und deren Anzahl ermittelt, sodass diese mit den Vorgaben der Stückliste verglichen werden kann. Die Prüfung auf Vollständigkeit der Elemente im Modell kann anschließend dokumentiert und an die im Prüfprozess nächsten zuständigen Personen kommuniziert werden.

Die Prüfroutine bietet ein hohes Maß an Flexibilität bei der Konfiguration der Prüfungen und der Formulierung der Ergebnisse. Sie ermöglicht es, sowohl das gesamte Modell als auch Teile davon zu prüfen, indem nur sichtbare Elemente in die Prüfung einbezogen werden. Darüber hinaus ermöglicht die Benutzeroberfläche die Eingabe von Kommentaren für alle Elemente in der erstellten Liste, die nicht den Status "Bestanden" aufweisen. Bei der Entwicklung der Prüfroutinen wurden einige Optimierungsstrategien implementiert, wie z. B. die Sortierfunktion der Ergebnisse und die automatische Vervollständigung bei der Eingabe des Sortierattributs.

Die Eingabe, die für den erfolgreichen Abschluss dieser Prüfroutine erforderlich ist, besteht hauptsächlich aus einem Fachmodell im IFC-Format. Die Ausgabe ist eine Liste der modellbasierten Mengen in Tabellenform, die manuell mit der übergebenen Stückliste verglichen werden kann, unabhängig davon, ob es sich um ein physisches oder digitales Dokument handelt.

Der Erfolg der Prüfung und die Erzielung qualitativ hochwertiger Ergebnisse hängen in hohem Maße von der Auswahl der richtigen Attribute für die Erstellung der Liste ab. Daher ist es wichtig, dass die Modelldetaillierung korrekt gewählt ist. In diesem Fall bedeutet dies, dass einzelne Elemente, wie z. B. das

Fundament eines Mastes, als ein vom Mast unabhängiges Objekt modelliert werden müssen. Darüber hinaus ist eine korrekte Attribuierung der Bauteile, sowohl im Hinblick auf die Vollständigkeit der Attribute als auch auf die Korrektheit der Schreibweise und der Werttypen, eine Voraussetzung für die Durchführung der Prüfung.

Hinsichtlich der Bewertung anhand der entwickelten Kriterien zeigt die Prüfroutine "Stückliste Validieren" keine großen Abweichungen von der ursprünglichen Bewertung. Beide Bewertungen sind in Tabelle 12 dargestellt.

TABELLE 12: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFRROUTINE „STÜCKLISTE VALIDIEREN“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 2 | 2 |
| Durchführung der Überprüfung | | |
| Aufbereitung der Ergebnisse | | 1 |

5.4.3 Prüfroutine 3: Mengenermittlung

Die Prüfroutine vergleicht die konventionell ermittelten Mengen mit den auf der Grundlage des Modells berechneten Mengen. Ihr Hauptzweck besteht darin, Abweichungen zwischen den angenommenen und den tatsächlichen Mengen zu identifizieren. Sie kann ebenfalls verwendet werden, um die Daten des Leistungsverzeichnisses mit den Modellmengen zu überprüfen und zu vergleichen.

Die Prüfroutine hat mehrere Eigenschaften, die sie zu einem effizienten und effektiven Werkzeug für den Mengenvergleich machen. Sie bietet einen schnellen und umfassenden Überblick über die Mengen im Modell und ermöglicht es den Anwenderinnen und Anwendern, diese mit den Mengen im Leistungsverzeichnis des Projekts zu vergleichen.

Die Prüfroutine benötigt ein attribuiertes BIM-Modell im IFC-Format mit korrekten geometrischen Abmessungen, sodass die tatsächlichen Mengen ermittelt werden können. Zusätzlich wird ein Leistungsverzeichnis im Format GAEB-DA 11, GAEB-XML X81-86, GAEB-90 D81-86 oder boq.xml benötigt. Das Leistungsverzeichnis muss die konventionell kalkulierten Mengen enthalten. Die Anwender nehmen die Verknüpfung über eine Schaltfläche manuell vor, indem für jede Kostenposition die Modellobjekte manuell selektiert werden. Die Benutzeroberfläche der Prüfroutine enthält eine interaktive, aufklappbare Tabelle im Format des Leistungsverzeichnisses, in der alle Positionen aufgelistet sind. Zu jeder Position werden die im Prüfprogramm erfassten Mengen mit den kalkulierten Mengen aufgeführt und können manuell verglichen werden. Die Bewertung erfolgt mit farblichen Checkboxes und Kommentaren.

Um qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erhalten, müssen die Komponenten in einem Detaillierungsgrad modelliert werden, der der Genauigkeit der Annahmen über die Mengenzusammensetzung im Leistungsverzeichnis (LV) entspricht. Das bedeutet, dass das Modell und das Leistungsverzeichnis die gleiche Granularität aufweisen müssen, sodass den Positionen des Leistungsverzeichnisses die entsprechenden Modellelemente eindeutig zugeordnet werden können.

Die Prüfroutine hat einige Einschränkungen, die berücksichtigt werden sollten. Eine dieser Einschränkungen besteht darin, dass die Positionen manuell mit den Modellelementen verknüpft werden müssen,

da die automatische Zuordnung erweiterte Einstellungen im LV erfordert. Diese erweiterten Anforderungen beinhalten z. B. eine Attribuierung der LV-Positionen, über welche dann mit Hilfe eines „Match Keys“ Verknüpfungen zwischen den Modellobjekten und den entsprechenden Positionen im Leistungsverzeichnis vorgenommen werden können. Geeignete Attribute wären Attribute, die eindeutig auf die richtigen Objekte verweisen (beispielsweise Attribute, die die Bauteilbezeichnungen oder die Lage des Objekts im Bauwerk beschreiben). Darüber hinaus führen bereits geringe Abweichungen zwischen den ermittelten Prüfprogramm -Werten und den LV-Werten zu einem automatischen "nicht bestanden"-Ergebnis, sodass teilweise Prüfergebnisse manuell angepasst werden müssen. Mit den automatisch ermittelten Prüfprogramm-Attributen können Volumen, Flächen und Stückzahlen bestimmt werden, jedoch ist eine Ermittlung des Bauteilgewichts nicht möglich, da hierfür die Dichte angegeben werden muss.

In der weiteren Entwicklung könnte eine automatische Verknüpfung des LVs mit den Modellelementen erfolgen, z. B. durch die Verwendung von Verknüpfungsschlüsseln, die auf Attributen aufbauen. Darüber hinaus kann das Problem der Berechnung des Gewichts gelöst werden, indem den betroffenen Bauteilen mit einem Attribut versehen werden, dass das Bauteilgewicht in Tonnen oder die Dichte des Materials enthält. Letztere kann in Kombination mit dem Volumen zur Berechnung des Bauteilgewichts genutzt werden.

Bei der Bewertung nach den entwickelten Kriterien weicht die Prüfroutine "Mengenmittlung" bei der „Aufbereitung der Eingangsdaten“ von der Erstbewertung ab. Um den Automatisierungsgrad zu erhöhen und eine Prüfroutine zu entwickeln, die alle erforderlichen Details erfassen und nachweisen kann, ist ein hoher Detaillierungs- und Strukturierungsgrad sowohl im LV als auch im Modell erforderlich. Beide Bewertungen sind in Tabelle 13 dargestellt.

TABELLE 13: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „MENGENMITTLUNG“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 4 | 6 |
| Durchführung der Überprüfung | 5 | 4 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 2 | 2 |

5.4.4 Prüfroutine 4: Versionsvergleich

Für diese Prüfroutine wird die integrierte Prüfprogramm-Funktionalität zum Vergleich verschiedener Versionen von Modellen als ausreichend betrachtet. Daher ist keine Weiterentwicklung der Kernfunktionalität erforderlich. Der erste Abschnitt der Benutzeroberfläche enthält eine detaillierte Anleitung zur Verwendung der Prüfprogramm-Funktionalität (siehe Anhang 09). Die weiteren Abschnitte enthalten die Nachbearbeitung der Ergebnisse und deren Integration in der gleichen Art, wie sie die anderen Prüfroutinen aufweisen.

Ziel der Prüfroutine ist es, zwei unterschiedliche Modellversionen eines Fachmodells hinsichtlich Semantik und Geometrie zu vergleichen. Somit erhalten die Anwender bei einer Aktualisierung des Fachmodells einen schnellen Überblick über Anpassungen und Änderungen.

Die Prüfroutine vergleicht die einzelnen Bauteile der verschiedenen Versionen und identifiziert die Elemente, die entweder in ihrer Geometrie verändert wurden oder bei denen Attribute hinzugefügt, entfernt oder geändert wurden. Der Vergleich wird anhand der eindeutigen ID der Modellobjekte durchgeführt. Die Funktion des Versionsvergleichs wird durchgeführt, bevor die neue Modellversion in das Koordinationsmodell geladen wird. Bei der Konfiguration der Prüfung wird die neuere Version hinterlegt und importiert. Nach erfolgreicher Prüfung können die Prüfergebnisse visuell dargestellt werden, indem die betroffenen Objekte beider Modellversionen eingefärbt werden. Neu hinzugefügte Elemente werden grün dargestellt, entfernte Elemente werden rot dargestellt, unveränderte Elemente behalten ihre ursprüngliche Modellfarbe und Elemente, deren semantische Informationen sich geändert haben, werden blau dargestellt.

Um qualitativ hochwertige Ergebnisse und einen fehlerfreien Ablauf der Prüfroutine zu gewährleisten, müssen die zu vergleichenden Versionen des Modells aus einer Originaldatei stammen. Dies muss der Fall sein, damit die einzelnen Elemente anhand der IDs verglichen werden können. Wenn die Versionen z. B. aus unterschiedlichen Autorenprogrammen stammen, ist die Durchgängigkeit der IDs nicht gewährleistet und es werden falsche Ergebnisse geliefert.

Bei den Einschränkungen ist zudem zu beachten, dass nicht beide Modellversionen tatsächlich in das Prüfprogramm importiert werden. Aufgrund der eindeutigen ID-Bezeichnungen käme es zu fehlerhaften Ergebnissen, weil mehrfach vergebene IDs in einem Koordinationsmodell nicht zulässig sind. Ein Vergleich wäre somit nicht möglich. Darüber hinaus ist das Vergleichstool sensibel für alle Attribute, so dass eine sinnvolle Auswahl der für den Vergleich relevanten Attribute entscheidend ist. Andernfalls werden z. B. einige Objekte, die eigentlich unverändert sind, als "geändert" klassifiziert, weil sich im Versionsvergleich das Attribut des Exportdatums der IFC-Datei geändert hat. Außerdem wird die neue Version des Modells temporär in einem anderen Fenster geladen und nicht tatsächlich im Prüfprogramm importiert. Dies bedeutet, dass es keine Verbindung zwischen der Software und den Elementen des Modells gibt und daher keine Issues oder Ansichtspunkte aus der neuen Version abgeleitet werden können.

Für die zukünftige Entwicklung kann die Möglichkeit beide Versionen zu importieren, die Erstellung von Ergebnissen verbessern, insbesondere die Erstellung von Issues und Standpunkten auf der Grundlage beider Modelle. Die Entwicklung der verwendeten Funktionalität hängt jedoch von der Entwicklung vom Prüfprogramm selbst ab. An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass die Entwicklung eines vollständigen Werkzeugs für den Vergleich von Modellversionen auf der Grundlage der aktuellen Technologie möglich ist, jedoch professionelle Fähigkeiten und Ressourcen für die Entwicklung des Werkzeugs erfordert.

Hinsichtlich der Bewertung anhand der entwickelten Kriterien zeigt die Prüfroutine "Versionsvergleich" keine bedeutenden Abweichungen von der ursprünglichen Bewertung. Beide Bewertungen sind in Tabelle 14 dargestellt.

TABELLE 14: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „VERSIONSVERGLEICH“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 4 | 6 |
| Durchführung der Überprüfung | 5 | 4 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 2 | 2 |

5.4.5 Prüfroutine 5: Grunderwerbsgrenzen

Das Ziel der Prüfroutine ist der Abgleich der Grunderwerbsgrenzen mit der Planfeststellungsgrenze. Es dürfen keine Flurstücke mit Inanspruchnahmen außerhalb der Planfeststellungsgrenze liegen. Die Prüfung der Elemente des Grunderwerbsplans kann anschließend dokumentiert und an den Vorhabenträger kommuniziert werden. Für die Zwecke der Planfeststellung ist hierbei auf eine Versionierung des geprüften Bauwerksmodells zu achten. Zu bedenken ist dabei auch die Darstellung der für die Kompensation erforderlichen (trassenfernen) Maßnahmen.

Die Elemente des Grunderwerbsplans werden auf Inanspruchnahme geprüft und bei vorhandener Inanspruchnahme mit der Planfeststellungsgrenze verglichen. Die identifizierten Elemente müssen vollständig innerhalb der Planfeststellungsgrenze liegen, andernfalls werden sie als „nicht bestanden“ bewertet. Zusätzlich wird in einer Tabelle aufgelistet, wie viele Elemente vollständig innerhalb der Planfeststellungsgrenze liegen und wie viele die Planfeststellungsgrenze schneiden bzw. vollständig außerhalb liegen. Die kritischen Elemente können zur Visualisierung automatisch ausgewählt und zusammen mit dem Modell der Planfeststellungsgrenze dargestellt werden. Für jede „nicht bestandene“ Position und für jede Position, für die noch „Informationen erforderlich“ sind, wird ein Issue angelegt und der zugehörige Kommentar als „Beschreibung“ des Issues vermerkt.

Um die Prüfroutine durchführen zu können, sind sowohl ein attribuiertes Fachmodell des Grunderwerbsplans als auch ein Fachmodell der Planfeststellungsgrenze im IFC-Format notwendig. Im Grunderwerbsmodell müssen die Grunderwerbsinformationen entsprechend der Definition im erweiterten SOM gepflegt sein (siehe Anhang 10).

Um qualitativ hochwertige Ergebnisse und einen fehlerfreien Ablauf der Prüfroutine zu gewährleisten, müssen die Flurstücke sowie die Plangrenze sauber modelliert sein, da bereits kleinste Abweichungen der Flurstücke am Rand der Plangrenze zu einer kritischen Bewertung führen.

Im Hinblick auf die Einschränkungen der Prüfroutine ist zu beachten, dass die Planfeststellungsgrenze als 3D-Körper modelliert und vertikal im Modell so positioniert werden muss, dass die Grunderwerbsflächen oberhalb der Volumenunterkante und unterhalb der Volumenoberkante liegen. Dadurch entsteht ein großes 3D-Objekt, das die Sichtbarkeit anderer Modelle beeinträchtigen kann. Damit man dies vermeidet, können Modelltransparenzeinstellungen vorgenommen werden.

In der weiteren Entwicklung kann es Teil der Anforderungen sein, dass die Modelle der Planfeststellungsgrenze und des Grunderwerbs als 3D-Fachmodelle im IFC-Format statt als 2D-Pläne geliefert werden müssen. Darüber hinaus können die Informationen des Grunderwerbs über standardisierte Attribute mit den Fachmodellen der Grundstücke verknüpft werden.

Hinsichtlich der Bewertung von Aufwand und Nutzen anhand der entwickelten Kriterien weicht die Prüfroutine „Grunderwerbsgrenzen“ von den ursprünglichen Bewertungen ab. Die Abweichung zeigt sich in einer Reduzierung im Bereich der Übersetzung der regulatorischen Anforderungen, sowie im Bereich der Aufbereitung der Eingangsdaten. Beide Bewertungen sind in Tabelle 15 dargestellt.

TABELLE 15: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „GRUNDERWERBSGRENZEN“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | 1 | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 5 | 3 |

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|------------------------------|---------------|------------------|
| Durchführung der Überprüfung | 2 | 2 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 4 | 4 |

5.4.6 Prüfroutine 6: Grunderwerbsverzeichnis

Zweck der Prüfroutine ist es, die Angaben zu den Flurstücken im Grunderwerbsmodell anhand der Flurstücksnummern mit den entsprechenden Angaben im Grunderwerbsverzeichnis auf Vollständigkeit und Korrektheit zu überprüfen. Die Prüfung der Modelle kann dokumentiert und an die Verantwortlichen kommuniziert werden.

Nach Auswahl des Grunderwerbsmodells über die Benutzeroberfläche werden die darin enthaltenen Informationen zum Grunderwerb automatisch ausgelesen und nach Flurstücken gruppiert in einer interaktiven Tabelle ausgegeben. Diese Tabelle kann mit dem physischen Grunderwerbsverzeichnis manuell abgeglichen werden. In der Tabelle kann die entsprechende Bewertung pro Flurstück anhand von Checkboxes vorgenommen werden. Für jedes „nicht bestandene“ Flurstück und für jedes Flurstück, für das noch „Informationen erforderlich“ sind, können Kommentare hinzugefügt und Issues angelegt werden.

Um die Prüfroutine durchführen zu können, sind die erforderlichen Eingaben ein attribuiertes Fachmodell des Grunderwerbsplans und ein digitales oder physisches Grunderwerbsverzeichnis. Im Grunderwerbsmodell müssen die Grunderwerbsinformationen entsprechend der Definition im erweiterten SOM gepflegt sein.

Die Einschränkung der Prüfroutine liegt derzeit in ihrem Automatisierungsgrad. Eine vollständige Automatisierung ist nur möglich, wenn das Grunderwerbsverzeichnis digital und maschinenlesbar zur Verfügung gestellt wird.

Bei der Bewertung nach den entwickelten Kriterien weicht die Prüfroutine „Grunderwerbsverzeichnis“ stark von der ursprünglichen Bewertung ab. Dieser große Unterschied ergibt sich aus den Annahmen, die bei der Entwicklung getroffen wurden. Es wurde davon ausgegangen, dass das Fachmodell des Grunderwerbs mit allen integrierten Informationen der Grundstücke in Form von Attributen beim EBA eingereicht wird. Darüber hinaus erfolgt ein manueller Abgleich zwischen den Werten des Modells und den Werten des physischen Grunderwerbsverzeichnisses. Hingegen sind die Werte der Auswertung in den Bereichen der Aufbereitung der Eingabedaten sowie im Bereich der Durchführung der Prüfroutine stark gesunken. Beide Bewertungen sind in Tabelle 16 dargestellt.

TABELLE 16: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „GRUNDERWERBSVERZEICHNIS“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | 1 | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 5 | 3 |
| Durchführung der Überprüfung | 2 | 2 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 4 | 4 |

5.4.7 Prüfroutine 7: Zustimmungserklärungen

Ziel der Prüfroutine ist es, die Vollständigkeit der Zustimmungserklärungen zu überprüfen. Für jede Inanspruchnahme pro Flurstück Dritter muss eine Zustimmungserklärung vorliegen. Die Prüfung der Elemente des Grunderwerbsplans kann daraufhin dokumentiert und an die Verantwortlichen oder nächste zuständige Person in der Prüfprozesskette kommuniziert werden.

Die Hauptfunktion der Prüfroutine besteht darin, für jeden Anspruch pro Flurstück zu prüfen, ob ein Dokument aus dem Modell der Zustimmungserklärungen mit dem Flurstück verknüpft ist. Eine interaktive Tabelle listet für jede Inanspruchnahme auf, ob ein Vertrag vorhanden ist. Falls kein Vertrag vorliegt, wird dies automatisch als „nicht bestanden“ bewertet. Eine manuelle Anpassung der Bewertung ist ebenso möglich wie das Hinzufügen eines Kommentars.

Wie bei den anderen Prüfroutinen können die Ergebnisse als BCF exportiert werden. Zusätzlich wird für jede Inanspruchnahme pro Flurstück mit dem Status „nicht bestanden“ und für jede Inanspruchnahme mit dem Status „Auskunft erforderlich“ ein Issue erzeugt. Die abgegebenen Kommentare werden als "Beschreibung" des Issue vermerkt.

Die Prüfroutine benötigt zur Durchführung bestimmte Eingaben. Dazu gehört ein attribuiertes Fachmodell des Grunderwerbsplans. Die Informationen zum Grunderwerb müssen jedoch im erweiterten SOM gepflegt werden. Außerdem ist es für die Durchführung der Prüfroutine wesentlich, dass die Zustimmungserklärungen als Dokumente mit dem Grunderwerbsplan verknüpft sind.

Die Prüfroutine basiert darauf, dass die Verknüpfung von Dokumenten mit Modellobjekten untersucht wird. Einschränkungen können sich ergeben, wenn Dokumente nicht mit Modellelementen verknüpft sind und auf einer anderen Plattform geprüft werden sollen. Dies führt zu technischen Herausforderungen im Zusammenhang mit Zugriffsrechten und der Extraktion von Daten. Dies wird durch den Einsatz einer spezialisierten Datenmanagement-Plattform ermöglicht, die neben umfassenden Zugriffskontrollen auch ein hohes Maß an Datensicherheit gewährleistet. Damit wird sichergestellt, dass alle relevanten Dokumente zentral und sicher zugänglich sind und die Verknüpfung mit den Modellelementen effizient verwaltet werden kann.

Eine Verbesserung für die zukünftige Entwicklung könnte die Definition von Beziehungen zwischen Verträgen und Modellelementen im ICDD-Container sein. Diese Container können Verknüpfungen zu Dokumenten abbilden, die sich nicht im Modell sondern auf anderen Plattformen befinden. Dies könnte die Arbeit mit Datenmanagement-Plattformen erleichtern, da somit zwei Systeme genutzt werden können. Darüber hinaus könnte ein Viewer für Dokumente die Überprüfung des Dokumentinhalts erleichtern, ohne das Prüfsystem (in diesem Fall DESITE BIM) verlassen zu müssen. Ein weiterer Punkt, der angepasst werden kann ist die Unterscheidung der Flurstücke nach Eigentümern. Hinsichtlich der Bewertung von Aufwand und Nutzen anhand der entwickelten Kriterien weicht die Prüfroutine „Zustimmungserklärungen“ von den ursprünglichen Bewertungen ab. Die Abweichung spiegelt sich in einer Reduzierung des Bereichs der Verarbeitung der Eingangsdaten sowie des Bereichs der Durchführung der Prüfroutine wider. Der Grund für diese Abweichung liegt in der klaren Aufteilung der zu prüfenden Aspekte zum Thema Grunderwerb. Daraus ergeben sich eigenständige Konzepte, die ohne höheren Komplexitätsaufwand umgesetzt werden können. Des Weiteren wird bei der Entwicklung der Prüfroutinen davon ausgegangen, dass die Zustimmungen mit den Modellelementen verknüpft sind. Beide Bewertungen sind in

Tabelle 17 dargestellt.

TABELLE 17: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „ZUSTIMMUNGSKLÄRUNGEN“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 5 | 2 |
| Durchführung der Überprüfung | 4 | 1 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 3 | 3 |

5.4.8 Prüfroutine 8: Planfeststellungsgrenze¹¹

Ziel der Prüfroutine ist die Prüfung der Planung auf Einhaltung der Planfeststellungsgrenze. Die relevanten Modelle werden dahingehend überprüft, ob alle Elemente innerhalb der Planfeststellungsgrenze liegen. Die Prüfung der Modelle kann dokumentiert und an den Vorhabenträger kommuniziert werden.

In dieser Prüfroutine werden das Modell der Planfeststellungsgrenze und alle Modelle, die gegen die Planfeststellungsgrenze geprüft werden sollen, in den Prüfprozess einbezogen. Die zu prüfenden Planungsmodelle können durch die Anwenderinnen und Anwender mit Hilfe von Checkboxes ausgewählt werden. Anschließend überprüft die Routine, ob jedes Element der ausgewählten Modelle vollständig innerhalb der Grenzen der Planfeststellung liegt. Nach der Durchführung der Prüfroutine ist es auch möglich, die Elemente, die außerhalb der Planfeststellungsgrenzen liegen, visuell hervorzuheben.

Um die Prüfroutine durchführen zu können, sind bestimmte Eingaben erforderlich. Dazu gehören die Fachmodelle im IFC-Format, die gegen die Planfeststellungsgrenze geprüft werden sollen. Zusätzlich wird ein Fachmodell der Planfeststellungsgrenze als Volumenkörper im IFC-Format benötigt. Als Ergebnis generiert das Programm eine interaktive Tabelle, in der für jedes Modell die Anzahl der innerhalb und außerhalb liegenden Elemente aufgelistet wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diese im Modell visuell darzustellen.

Da es sich bei dem Modell der Planfeststellungsgrenze nicht um ein standardisiertes Fachmodell handelt, wird es im SOM nicht berücksichtigt. Folglich sind keine semantischen Informationen vorgegeben. Es ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass sowohl das Fachmodell als auch das Modell der Planfeststellungsgrenze genau modelliert bzw. richtig positioniert sein müssen, um qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erhalten. Andernfalls könnten falsche Informationen als Ergebnisse geliefert werden.

Hinsichtlich der Bewertung nach den entwickelten Kriterien weist die Prüfroutine „Planfeststellungsgrenze“ geringfügige Abweichungen von der ursprünglichen Bewertung auf. Diese Abweichungen liegen im Bereich der Übersetzung der regulatorischen Anforderungen sowie in der Aufbereitung der Ergebnisse. Der Grund für diese Abweichungen liegt darin, dass die Prüfung rein geometrisch ist und keine Richtlinien berücksichtigt wurden. Außerdem war es notwendig, detaillierte Ergebnisse zu erstellen. Beide Bewertungen sind in Tabelle 18 dargestellt.

¹¹ Die Prüfung von Routine 5 „Grunderwerbsgrenzen“ setzt zwingend eine Kenntnis des räumlichen Umgriffs des Planvorhabens (der Planfeststellungsgrenzen) voraus. Daher sollte die Prüfroutine „Planfeststellungsgrenzen“ im Prüfablauf der Prüfroutine „Grunderwerbsgrenzen“ zeitlich vorgelagert sein.

TABELLE 18: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „PLANFESTSTELLUNGSGRENZE“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | 1 | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 4 | 3 |
| Durchführung der Überprüfung | 4 | 4 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 3 | 4 |

5.4.9 Prüfroutine 9: Schutzgebietsgrenze

Ziele der Prüfroutine sind die Prüfung der Planung auf Einhaltung eines Mindestabstands zu Schutzgebietsgrenzen und festzustellen, ob sensible Naturschutzbereiche (Nationalparks, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, etc.) durch die Planung berührt werden. Die relevanten Modelle werden daraufhin überprüft, ob alle Elemente außerhalb der Schutzgebietsgrenze liegen. Die Prüfung der Modelle kann dann dokumentiert und an die Vorhabenträger kommuniziert werden.

Unabhängig von den unterschiedlichen Konzepten ist die Funktionalität dieser Prüfroutine ähnlich der Prüfroutine für die Planfeststellungsgrenze. Bei der Durchführung der Prüfroutine wird für jedes Element der ausgewählten Modelle geprüft, ob es vollständig außerhalb der Schutzgebietsgrenze liegt. Die Ergebnisdarstellung, die Dokumentation der Ergebnisse sowie die Einschränkungen erfolgen analog zur Prüfroutine der Planfeststellungsgrenze. Das Prüfergebnis ist noch einmal zu überprüfen, da eine Beeinträchtigung eines Schutzgebiets auch ohne direkten räumlichen Eingriff in das Schutzgebiet möglich ist. So können sie etwa auch durch außerhalb des Schutzgebiets liegende Anlagenteile Immissionen (Lärm, Staub, etc.) verursacht werden, die in das Schutzgebiet hineinwirken und dieses beeinträchtigen. Wegen des exemplarischen Charakters der Prüfroutinen wurden diese Beeinträchtigungen zunächst nicht weiter vertieft.

Um diese Prüfroutine ausführen zu können, müssen die Fachmodelle, die gegen die Schutzgebietsgrenze geprüft werden sollen, in den Formaten IFC, DWG/DXF oder XML vorliegen. Zusätzlich wird ein Fachmodell der Schutzgebietsgrenze benötigt. Die erfolgreiche Durchführung der Prüfroutine resultiert in einer generierten interaktiven Tabelle, die für jedes Modell die Anzahl der innerhalb und außerhalb liegenden Elemente auflistet und die Möglichkeit bietet, diese visuell im Modell darzustellen.

Hinsichtlich der Bewertung nach den entwickelten Kriterien zeigt die Prüfroutine „Schutzgebietsgrenze“ große Abweichungen von der ursprünglichen Bewertung. Diese Abweichungen liegen in der Übersetzung der regulatorischen Anforderungen und in der Aufbereitung der Ergebnisse. Der Grund für solche Abweichungen liegt in der Annahme, dass die technischen Anforderungen im Modell als 3D-Objekt dargestellt werden. Beide Bewertungen sind in

Tabelle 19 dargestellt.

TABELLE 19: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFROUTINE „SCHUTZGEBIETSGRENZE“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|---------------|------------------|
| Regulatorische Anforderungen | 4 | |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 5 | 3 |
| Durchführung der Überprüfung | 2 | 4 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 4 | 4 |

5.4.10 Prüfroutine 10: Lichtraumprofil

Ziel dieser Prüfroutine ist es, die Modellierung des Lichtraumprofils und die Einhaltung der Sicherheitsabstände zu überprüfen. Die Überprüfung des Modells kann anschließend dokumentiert und den Verantwortlichen mitgeteilt werden.

In einem ersten Schritt erleichtert die Prüfroutine die Ermittlung des richtigen Lichtraumprofils gemäß RIL 800.0130. Dies geschieht durch automatisches Auslesen des Profiltyps aus dem Modell und durch Berücksichtigung einiger Benutzereingaben, wie z. B. Zugart und Geschwindigkeit. Im zweiten Schritt stellt die Routine zwei Funktionen für die Prüfung zur Verfügung. Die erste ist die Überprüfung des Mindestabstands zwischen den Modellelementen des Lichtraumprofils und den anderen Modellelementen, z. B. den Oberleitungsmasten. Die zweite ist die Überprüfung der Genauigkeit der Profilmessung anhand der Abbildung in RIL 800.0130. Die Routine bietet die Möglichkeit, die Messungen zu speichern und Issues für fehlerhafte Messungen zu erstellen.

Für die Ausführung der Prüfroutine sind spezifische Eingaben erforderlich. Benötigt wird ein attribuiertes Fachmodell des Lichtraumprofils sowie ein Modell der Oberleitung im Format IFC. Die Modelle müssen eine eindeutige Zuordnung und Attribuierung enthalten. Als Ergebnis der Prüfroutine wird eine Tabelle erstellt, die alle von der Benutzerin oder vom Benutzer dokumentierten oder aus der Mindestabstandsprüfung resultierenden Issues und Ansichtspunkte enthält. Zusätzlich wird für jedes im Prüflauf aufgetretene Issue, welches nicht als „bestanden“ deklariert wird, eine Dokumentation der Ergebnisse im BCF-Format inklusive der zugehörigen Ansicht erstellt.

Die Prüfroutine erfordert es, dass die Messung der Profilabmessungen manuell mit der Mess-Funktion vom Prüfprogramm erfolgen. Um diesen Prozess zu automatisieren, könnten die prüfungsrelevanten Maße als Attribute in das Modell integriert werden.

Derzeit kann im Prototyp nur das projektspezifische Lichtraumprofil ausgewählt werden, eine Weiterentwicklung wäre die Auswahl aus allen in den Richtlinien dokumentierten Lichtraumprofilen. Zusätzlich erfolgt eine Übersetzung der Richtlinien bzw. der relevanten Daten aus den Richtlinien in ein maschinenlesbares Dokument. Diese Datenbank mit Richtlinieninformationen kann für die Weiterentwicklung von Prüfroutinen genutzt werden. So wäre eine automatische geometrische Auswertung des Lichtraummodells möglich.

Hinsichtlich der Bewertung nach den entwickelten Kriterien weicht die Prüfroutine „Lichtraumprofil“ von den ursprünglichen Bewertungen ab. Diese Abweichung spiegelt sich in einer Erhöhung der Komplexität in drei der vier Bewertungsbereiche wider. Der Grund für diese Abweichung liegt darin, dass die Annahmen der ursprünglichen Bewertung nicht die Komplexität berücksichtigten, die während der Umsetzung auftreten kann, z. B. bei der Erstellung eines detaillierten Ergebnisses. Beide Bewertungen sind in Tabelle 20 dargestellt.

TABELLE 20: BEWERTUNG DES AUFWANDS UND DES NUTZENS DER PRÜFRoutine
„LICHTRAUMPROFIL“

| Kriterium | Erstbewertung | Finale Bewertung |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Regulatorische Anforderungen | 1 | 1 |
| Ausbereitung der Eingangsdaten | 3 | 4 |
| Durchführung der Überprüfung | 3 | 5 |
| Aufbereitung der Ergebnisse | 2 | 4 |

6 Handlungsempfehlungen

Innerhalb des Projekts wurden Prüfroutinen identifiziert, bewertet und prototypisch umgesetzt. Der hierbei gewonnene Einblick in die Geschäftsprozesse des EBA zeigte Anforderungen auf, die bei einer zukünftigen Implementierung von modellbasierten Prüf- und Genehmigungsprozessen beim EBA berücksichtigt werden sollten. Die nachfolgende Zusammenfassung hat hierbei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da sie lediglich auf den im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnissen fußt.

Für eine allgemeine Implementierung wird die Ausarbeitung einer Implementierungsstrategie empfohlen. Hierbei könnten Daten, Prozesse und Technologien im Detail analysiert werden, um relevante Maßnahmen zur Einführung eines digitalen, modellgestützten Genehmigungsprozesses, sowie die hiermit einhergehende Transformation im EBA zu definieren. Die identifizierten Anforderungen werden nachfolgend für die Bereiche Technologie, Prozesse, Menschen und Daten dargestellt:

Technologie

Für die Einführung von digitalen, modellbasierten Prüfprozessen konnten für den Bereich Technologie folgende Anforderungen identifiziert werden:

- Erweiterung der Programmlandschaft um Funktionalitäten zur Prüfung von Modellen
- Etablierung von BCF zur exemplarischen modellbasierten Kommunikation, Verwaltung von Prüfanmerkungen, Nachverfolgung von Modellanpassungen und Dokumentation
- Ausbau der Netzwerkkapazitäten zur Übertragung größerer Datenmengen
- Einführung von vernetzten Systemen zur Verwaltung von Modelldaten, Prüfanmerkungen und Prüfroutinen innerhalb der unterschiedlichen Geschäftsprozesse und Bereiche des EBA
- Zentrale Verwaltung und Bereitstellung von Prüfroutinen innerhalb der Organisation zur Vereinheitlichung von Prüfprozessen (im Idealfall innerhalb einer Plattform)
- Entwicklung von Prüfroutinen für die eingeführte Programmumgebung
- Etablierung von digitalen, modellbasierten Austauschprozessen zur Einreichung von digitalen, modellbasierten Antragsunterlagen

Daten

Für die Einführung von digitalen, modellbasierten Prüfprozessen konnten für den Bereich Daten folgende Anforderungen identifiziert werden:

- Datenaustausch, Übergabe und Zusammenarbeit sowie revisionssichere Ablage der Genehmigungsstände auf Systemen der Vorhabenträgerin oder eigenen Systemen des EBA erarbeiten und entwickeln (z. B. über Systemschnittstellen oder Containerformate für die Übergabe von Genehmigungen)
- Definition von Anforderungen auf Dateiebene (Namenskonvention oder Metadaten) für möglichst alle Informationsträger (z. B. Modelle, Pläne, Kosten/digitale Leistungsverzeichnisse, Termine/maschineninterpretierbare Terminpläne, Berichte, Gutachten)
- Formulierung von Lieferanforderungen für die unterschiedlichen Geschäftsprozesse und Verfahren auf Dateiebene (erforderliche Modelle, Datenstrukturen, Klassifikationssystemen, Dateiformaten, Pläne, Berichte, etc.)
- Erarbeitung von Lieferanforderungen für die Modelle in Bezug auf Merkmale und deren Ausprägung sowie Modellierung für die einzelnen Fachmodelle zur Einbindung in den Prüfprozess
- Abstimmung der Lieferanforderungen mit den Antragsstellenden zur Einbindung der Lieferanforderungen in den Ausschreibungs- und Vergabeprozess

- Spezifikation eines Containerformats zur Übergabe digitaler Anträge in enger Abstimmung mit den Vorhabenträgern
- Zentralisierung der Daten für die Antrags- und Genehmigungsprozesse zur einfachen Standort-übergreifenden Zusammenarbeit

Menschen

Für die Einführung von digitalen, modellbasierten Prüfprozessen konnten für den Bereich Menschen folgende Anforderungen identifiziert werden:

- Schaffung einer zentralen Organisationseinheit zur Einführung und Entwicklung von digitalen, modellgestützten Prüf- und Genehmigungsprozessen
- Formulierung und Kommunikation einer Strategie innerhalb des EBA
- Bereitstellung von Weiterbildungsangeboten für die Mitarbeitenden des EBA in Bezug auf das Arbeiten mit Modellen und deren Prüfung
- Bereitstellung von Angeboten zur Unterstützung der Mitarbeitenden im Zuge des Veränderungsprozesses der Organisation zur Einführung der neuen Arbeitsmethoden
- Eine interne Veröffentlichung im EBA von Information zu den veränderten Prozessen und Lieferanforderungen (z. B. Webinar, öffentliche Website)

Prozesse

Für die Einführung von digitalen, modellbasierten Prüfprozessen konnten für den Bereich Prozesse folgende Anforderungen identifiziert werden:

- Erarbeitung von Sollprozessen auf Basis der neu gestalteten Programmumgebungen des EBA
- Pilotierung, Optimierung und Etablierung der Austauschprozesse mit den Vorhabenträgern für einen strukturierten, digitalen modellbasierten Datenaustausch
- Stufenweise Implementierung von modellbasierten Genehmigungsverfahren als Regelprozess innerhalb der einzelnen Standorte und Geschäftsprozesse des EBA

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Einführung von BIM bietet große Potentiale eine höhere Transparenz, eine bessere Qualität und weitergehende Automatisierbarkeit von Planungs-, Bau-, Genehmigungs- und Betriebsprozessen zu gewährleisten. Die Methode erfährt seit 2015 durch den Stufenplan Digitales Planen und Bauen im Infrastrukturbereich und Hochbau eine bundesweite Einführung.

Im Bereich der Schieneninfrastruktur wird durch die DB AG bereits der Großteil der Projekte in der Planung modellbasiert abgewickelt. Vorgehensweisen und Lieferanforderungen zur Umsetzung relevanter Anwendungsfälle werden hierbei zunehmend vereinheitlicht. Es ist davon auszugehen, dass die Anwendung in der Planung in den nächsten Jahren zum Standard wird und somit digitale Modelle flächendeckend vorliegen. Für die Planung erfolgt somit eine weitreichende Nutzung der Modelle und der hierin erhaltenen Informationen. Für die Genehmigung hingegen fehlen aktuell noch Vorgehensweisen und Lösungsansätze. Der Einsatz von modellbasierten Arbeitsweisen zur Prüfung von Planungsunterlagen ist somit von großem Interesse, um modellbasierten Prüf- und Genehmigungsprozesse einzuführen. Vor diesem Hintergrund wurde der Einsatz modellasierter Prüfroutinen erstmals grundlegend untersucht.

Vorab wurde der Stand der Technik zu Prüfroutinen, Datenformaten, Lieferanforderungen (u. a. AIA, SOM und LOIN), Fachmodellen und Genehmigungsverfahren zusammengestellt. Die Zusammenstellung zeigte, dass durch die AG bereits weitreichende Lieferanforderungen mit sehr umfänglichen Informationsanforderungen in Bezug auf Dateinamen und Merkmale vorgegeben und eingefordert werden. Die Informationsqualität und der Umfang an Informationen von möglichen Modellen für die Automatisierung von Prozessen kann somit bereits zum jetzigen Zeitpunkt als hoch eingestuft werden. Des Weiteren steht eine Vielzahl von kommerziellen und offenen Programmen zur Verfügung, welche die Prüfung von Modellen ermöglichen. Ansätze für Genehmigungsverfahren konnten hierbei im Wesentlichen im Bereich des Hochbaus identifiziert werden^{12 13}.

Aufbauend auf dem Stand der Technik wurden für die Geschäftsprozesse Planungs- und Projektbegleitung nach BUV, Verwendungsprüfung nach BUV und Planrechtsverfahren des EBAs Prüfroutinen identifiziert und bewertet. Die Ableitung von möglichen Prüfroutinen erfolgte durch eine Umfrage bei Mitarbeitenden des EBAs sowie einen anschließenden Workshop. Innerhalb des Workshops wurden die grundlegenden Zusammenhänge modellbasierten Arbeitens und die Möglichkeiten zur Prüfung von Modellen erläutert, sowie erste Ideen zu Prüfroutinen dargestellt. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der Umfrage in anonymer Form präsentiert und offen diskutiert. Abschließend wurden von den Teilnehmenden des Workshops Vorschläge zu Themen formuliert, welche mit Modellen in Zukunft geprüft werden sollen.

Diese Themen wurden ferner in Prüfroutinen überführt und strukturiert. Mittels eines qualitativen Bewertungsverfahrens konnten anhand der identifizierten Prüfroutinen zehn Prüfroutinen als priorisiert bewertet werden:

- Vollständigkeit der Antragsunterlagen
- Stücklisten Validieren
- Mengenermittlung
- Versionsvergleich
- Grunderwerbsgrenzen

¹² Weitere Informationen unter <https://www.digitalzentrumbau.de/kos/WNetz?art=News.show&id=1308> (geöffnet am 15.05.2023)

¹³ Weitere Informationen unter https://xleitstelle.de/xbau/ueber_xbau (geöffnet am 15.05.2023)

- Grunderwerbsverzeichnis
- Zustimmungserklärungen
- Planfeststellungsgrenze
- Schutzgebietsgrenze
- Lichtraumprofil

Dabei stellte sich heraus, dass wenige dieser Prüfroutinen BIM-Themen wie Kollisionsprüfung, Regelkonformität, Abstandsbewertung etc. beinhalteten. So dienten einige Prüfroutinen dazu, die innerhalb der Modelle vorliegenden Informationen einfacher auszuwerten und in Form von Tabellen darstellen zu lassen, sowie eine Bewertung zu ermöglichen (Grunderwerbsverzeichnis, Mengenermittlung, Stückliste validieren). Um dies zu gewährleisten und der Nutzerin oder dem Nutzer ergänzend die Anwendung zu vereinfachen, wurden Oberflächen entwickelt. Diese leiten die Anwenderin oder den Anwender durch den Prüfprozess und lassen eine abschließende Bewertung nach Durchführung der jeweiligen Prüfschritte zu. Zur Kommunikation der Ergebnisse der Prüfung wird auf das Kommunikationsformat BCF zurückgegriffen und ein zusammenfassender Prüfbericht wurde zur Dokumentation erstellt. Die einzelnen Prüfroutinen wurden in Steckbriefen umfassend dokumentiert und deren Nutzen und Aufwand abschließend bewertet.

Die Übergabe der Daten erfolgt innerhalb des Demonstrators, nicht über Einzeldateien. Vielmehr wurde eine Übergabe auf Basis von ICCD implementiert, wodurch eine mögliche, zukünftige Übergabe aller Daten als digitales Datenpaket in einem Containerformat veranschaulicht wird. Diese Implementierung entspricht ebenfalls den Anforderungen der BIM-Strategie der DB AG (DB AG, 2022). Der Einsatz von Informationscontainern sollte gemeinsam mit direkten Schnittstellen zur Datenübergabe über mögliche Portale in Zukunft weitergehend betrachtet und anwendungsreif ausgearbeitet werden. Hierdurch können eine höherwertige Datenübergabe und vor allem auch eine direkte Bewertung der eingereichten Unterlagen auf Vollständigkeit erfolgen. In Kombination mit einer direkten Prüfung von Modellen in Bezug auf deren Semantik kann hierdurch die Qualität der eingereichten Unterlagen erhöht werden und eine höhere Vollständigkeit erwartet werden. Zeitgleich ist davon auszugehen, dass hierdurch Kapazitäten beim EBA geschaffen werden, da Vollständigkeitsprüfungen zu einem gewissen Umfang entfallen können.

Der Demonstrator zeigt auf, dass die Verwendung von Prüfroutinen möglich ist und die Modelle mit den entwickelten Routinen im Vergleich zu Planunterlagen einfacher und schneller ausgewertet werden können. Gerade in Bezug auf Mengen, Verzeichnisse und zulässige Bereiche (Planfeststellung, Grunderwerb, Naturschutz) wird ein deutlicher Nutzen gesehen. In Bezug auf geometrische Anforderungen im Sinne von Abständen oder Maßgrößen, erfolgte lediglich für das Lichtraumprofil eine prototypische Umsetzung. Hier sollte zukünftig weitergehend betrachtet werden, inwiefern eine modellbasierte Prüfung von Abständen über Schnitte und Maße oder durch numerische Abstandsermittlungen für eine Vielzahl von Fällen als praxistauglich angesehen wird. Dies ist zwingend erforderlich, um umfängliche und (teil-)automatisierte Prüfungen von Richtlinien zu gewährleisten, sowie auf eine begleitende Plan-dokumentation verzichten zu können.

Ferner sind Modellanforderungen durch das EBA zu spezifizieren. In Bezug auf den semantischen Informationsbedarf konnte der SOM für viele Prüfroutinen auf Basis der Beispieldaten aus einem Realprojekt als ausreichend angesehen werden. Lediglich für die Prüfroutine Grunderwerbsverzeichnis waren weitreichende Informationen erforderlich.

Ergänzend ist davon auszugehen, dass die Art der Modellierung für eine umfangreiche Automatisierung von Prüfroutinen von großem Einfluss ist, da Abhängigkeiten zwischen Modellelementen bei abweichender Modellierung mitunter unterschiedliche Prüfungen erfahren müssen. Die Anforderungen an die Modelle sollten daher in enger Abstimmung mit den antragstellenden Organisationen erarbeitet werden.

Abschließend wird empfohlen, dass die Einführung von digitalen, modellbasierten Genehmigungs- und Prüfverfahren zukünftig vordergründig die einfache Bereitstellung und den Austausch von Modellen und Planungsdaten sowie die Kommunikation hierzu fokussieren sollte.

Hierdurch kann im ersten Schritt der Einführung ein zentraler, im Projekt identifizierter Anwendungsbereich, die Zusammenfassung von Projektdaten in Listen und Tabellen, sowie deren Bewertung direkt verfolgt werden. Die entwickelten Prüfroutinen zu Grunderwerb, Mengen und Stücklisten zeigen die Vorteile, zum Teil in Kombination mit gängigen Übergabeformaten wie GAEB auf. In einem zweiten Schritt können – aufbauend auf den Erfahrungswerten der ersten Phase der Einführung – die Komplexität der Prüfroutinen sowie die Anforderungen an die Modellqualität sukzessive gesteigert werden. Durch dieses Vorgehen wird vermieden, dass im ersten Schritt eine zu hohe Komplexität und Fehleranfälligkeit im Prozess vorgesehen wird. Somit sollte auf Seiten der einreichenden als auch prüfenden Parteien eine Überforderung vermieden und eine bessere Akzeptanz für modellbasierte Prüf- und Genehmigungsverfahren beim EBA sowie den Marktteilnehmern geschaffen werden.

8 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Übergeordnete Zusammenhänge und Zielsetzungen im Projekt..... | 11 |
| Abbildung 2: Bestandteile modellbasierter Konformitätsprüfungen nach Preidel (2020) | 13 |
| Abbildung 3: Beispiel für die Hierarchie der Prozesse..... | 15 |
| Abbildung 4: Soll-Prozesse unter dem Geschäftsprozess "Planungs- und Projektbegleitung nach BUV" | 15 |
| Abbildung 5: Beispiel für Teilprozesse und automatisierbare Aktivitäten durch BIM..... | 16 |
| Abbildung 6: Implementierung BIM zwischen der Deutschen Bahn AG und dem EBA zur Einführung der digitalen Genehmigungsplanung und einem volldigitalisierten Austausch von Daten (DB AG, 2022) | 17 |
| Abbildung 7: Ein Beispiel für verschiedene Fachmodelle und ein Koordinationsmodell | 19 |
| Abbildung 8: Zusammenspiel von semantischem Objektmodell, Geometrie und Fachmodell..... | 20 |
| Abbildung 9: Auszug zum semantischen Objektmodell | 21 |
| Abbildung 10: Übersicht über die internationalen Teilprojekte zur Erweiterung des IFC4-Standards für Belange der Infrastrukturplanung (buildingSMART international, 2020)..... | 23 |
| Abbildung 11: IFC-basiertes Modell des Fachgewerks Leit- und Sicherungstechnik mit dessen Merkmalen | 24 |
| Abbildung 12: Links: Die Struktur eines ICDD Informationscontainers, rechts: Definition von Verweisen zwischen Elementen in verschiedenen Modellen und Dokumenten (Borrmann, 2021)..... | 26 |
| Abbildung 13: Struktur des Informationscontainers für den BIM basierten Bauantrag (BIM- basierter Bauantrag, 2020) | 27 |
| Abbildung 14: Überblick verschiedener Fachveröffentlichungen im Kontext automatisierter Modellprüfungen | 28 |
| Abbildung 15: Kategorisierung der Modellqualitätskriterien (angelehnt an Preidel (2020)) | 29 |
| Abbildung 16: Benutzeroberfläche von DESITE BIM md..... | 32 |
| Abbildung 17: Bewertung der Teilprozesse unter Geschäftsprozess 1 | 38 |
| Abbildung 18: Bewertung der Teilprozesse unter Geschäftsprozess 2 | 38 |
| Abbildung 19: Bewertung der Teilprozesse unter Geschäftsprozess 3 | 39 |
| Abbildung 20: Bewertungskriterien für die Evaluation der identifizierten Prüfroutinen..... | 45 |
| Abbildung 21: Auswertung der Evaluationskriterien für alle identifizierten Prüfroutinen..... | 53 |
| Abbildung 22: Benutzeroberfläche der Startseite der entwickelten Prüfroutinen..... | 59 |
| Abbildung 23: Darstellung der Benutzeroberfläche der Prüfroutine "Grunderwerbsverzeichnis" | 61 |
| Abbildung 24: Seitenauszug aus dem Steckbrief Stückliste Validieren (siehe Anhang 08) | 63 |
| Abbildung 25: Ansicht des erstellten Koordinationsmodells im Prüfprogramm..... | 65 |
| Abbildung 26: Struktur der definierten Namenskonvention (siehe Anhang 11) | 66 |
| Abbildung 27: Beispiel für einen Ergebnisbericht der Prüfroutinen | 68 |

9 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Harmonisierte Anwendungsfälle im Rahmen von BIM-Deutschland..... | 18 |
| Tabelle 2: Übersicht über quelloffene Softwarepakete zur Entwicklung IFC-basierter Prüfroutinen | 32 |
| Tabelle 3: Tagesordnung des Workshops..... | 37 |
| Tabelle 4: Im Rahmen des Workshops identifizierte Prüfroutinen..... | 41 |
| Tabelle 5: Ergebnisse der Evaluation der Prüfroutinen. (Farbskala: Rot: hoher Aufwand/niedriger Nutzen, Grün: niedriger Aufwand/hoher Nutzen)..... | 50 |
| Tabelle 6: Identifizierte Ähnlichkeiten in Fragestellungen zur technischen Umsetzung der identifizierten Prüfroutinen..... | 54 |
| Tabelle 7: Priorisierte Prüfroutinen für das weitere Vorgehen in AP4..... | 54 |
| Tabelle 8: Prüfroutinen mit niedriger Priorität für das weitere Vorgehen in AP4..... | 55 |
| Tabelle 9: Identifizierte Prüfroutinen, die aufgrund der durchgeführten Evaluation vorerst nicht weiter berücksichtigt werden..... | 56 |
| Tabelle 10: Liste der gruppierten Fachmodelle und ihrer Formate..... | 64 |
| Tabelle 11: Namen der über den Informationscontainer bereitgestellten Daten..... | 66 |
| Tabelle 12: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Stückliste validieren“..... | 70 |
| Tabelle 13: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Mengenermittlung“..... | 71 |
| Tabelle 14: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Versionsvergleich“..... | 72 |
| Tabelle 15: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Grunderwerbsgrenzen“ .. | 73 |
| Tabelle 16: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Grunderwerbsverzeichnis“ | 74 |
| Tabelle 17: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Zustimmungserklärungen“ | 77 |
| Tabelle 18: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Planfeststellungsgrenze“ | 78 |
| Tabelle 19: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Schutzgebietsgrenze“..... | 80 |
| Tabelle 20: Bewertung des Aufwands und des Nutzens der Prüfroutine „Lichtraumprofil“..... | 81 |

10 Quellenverzeichnis

AEC3 (2022): BIMQ Intelligentes Informationsmanagement von BIM-Projekten: einfach, intuitiv & cloud-basiert [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter <https://www.bimq.de/>

Beetz, Jakob, Amman, Julian, Borrmann, André (2018): Analyse von Einsatzmöglichkeiten von verbundenen Informationen (Linked Data) und Ontologien und damit befassten Technologien (Semantic Web) im Bereich des Straßenwesens [Online], Zugriff am: 20.05.2022. Verfügbar unter: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/2181>

BIMDeutschland (2022): Anwendungsfälle [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.bimdeutschland.de/leistungen/anwendungsfaelle>

BIMtech (2022): ProperBIM [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter <https://bimtech.io/>

Borrmann, André, Esser, Sebastian, Jaud, Štefan, König, Markus, Liebich, Thomas (2020a): Begleitung der internationalen Standardisierungsprojekte IFC-Road und IFC-Rail - Abschlussbericht Gesamtprojekt [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter: https://publications.ed.bgu.tum.de/reports/2020_Borrmann_ifcroadrail_gesamt.pdf

Borrmann, André, Esser, Sebastian, Jaud, Štefan, König, Markus, Liebich, Thomas (2020): Begleitung der internationalen Standardisierungsprojekte IFC-Road und IFC-Rail - Abschlussbericht AP4 Validierung des Datenmodells [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter: https://publications.cms.ed.tum.de/reports/2020_Borrmann_ifcroadrail_validierung.pdf

Borrmann, André, Abualdenien, Jimmy, Krijnen, Thomas (2021): Information containers providing deep linkage of drawings and BIM models, In: 38th International Conference of CIB W78, 823-835 [Online], Zugriff am 02.03.2022. Verfügbar unter: https://publications.cms.ed.tum.de/2021_cib_w78-Deep_linking-FinalPaper.pdf

Buder, Jens (2017): Neues Planungsverfahren für Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik auf Basis durchgängiger elektronischer Datenhaltung. Dissertation, Technische Universität Dresden

buildingSMART international (2022): Machine readable Information Delivery Specification [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter: <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>

Dimyadi, Johannes, Amor, Robert (2018): BIM-based Compliance Audit Requirements for Building Consent Processing. In: 12th European Conference on Product and Process Modeling (ECPMP), S. 465-471, Limoassol, Zypern

Eastman, Chuck, Lee, Jae-min, Jeong, Yeon-suk, Lee, Jin-kook (2009): Automatic rule-based checking of building designs. In: Automation in Construction, 18(8), S. 1011-1033[Online]. Zugriff am 07.03.2022. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>

Esser, Sebastian (2018): Implementierung einer Datenschnittstelle zur Unterstützung der modellbasierten Planung von Bahnausrüstungstechnik, Masterarbeit Technische Universität München. Zugriff am 02.03.2022. Verfügbar unter: https://publications.cms.ed.tum.de/theses/2018_Esser_Vilgertshofer.pdf

Esser, Sebastian, Borrmann, André (2019): Integrating Railway Subdomain-Specific Data Standards into a common IFC-based Data Model, in: Proc. of the 26th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Leuven, Belgium. Zugriff am 02.03.2022. Verfügbar unter: https://publications.cms.ed.tum.de/2019_Esser_EGICE.pdf

Fauth, Judith. (2021). Ein handlungsorientiertes Entscheidungsmodell zur Feststellung der Genehmigungsfähigkeit. Zugriff am 15.03.2022. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet.4509>

Fauth, Judith, Malacarne, Giada, Marcher, Carmen (2022). Digitalisation of the building permit process - a case study in Italy. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1101(5), 052008. Zugriff am 15.03.2022. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/5/052008>

Garrett, James H. & Hakim, M. Maher (1992): Object-Oriented Model of Engineering Design Standards, in: Journal of Computing in Civil Engineering, 6(3), S. 323–347. Zugriff am 07.03.2022. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1992\)6:3\(323\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1992)6:3(323))

Gerke, Carsten, Klaus, Christoph, Girke, Klaus-Jürgen, Maschek, Ulrich, Uminski, Volker (2012): PlanPro - Durchgängige elektronische Datenhaltung im ESTW-Planungsprozess. In: Signal + Draht, 09/2012, S. 22–26

Häußler, Marco (2021): Development of methods for model-based quality assurance in railway infrastructure design. Dissertation, Technische Universität München

Hecht, Helge, Jaud, Štefan (2019): TUM OpenInfraPlatform: The Open-Source BIM Visualization Software. In: 31. Forum Bauinformatik, Berlin

Noardo, Francesca, Guler, Dogus, Fauth, Judith, Malacarne, Giada, Mastrolembo Ventura, Silvia, Aze-nha, Miguel, Olsson, Per-Ola, & Senger, Lennart (2022). Unveiling the actual progress of Digital Building Permit: Getting awareness through a critical state of the art review. Building and Environment, 213, 108854. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108854>

Preidel, Cornelius (2020): Automatisierte Konformitätsprüfung digitaler Bauwerksmodelle hinsichtlich geltender Normen und Richtlinien mit Hilfe einer visuellen Programmiersprache. Dissertation, Technische Universität München

RailML (2022): Willkommen im railML3-Wiki [Online], Zugriff am 20.05.2022. Verfügbar unter: <https://wiki3.railml.org/>

DB AG (2022): BIM-Strategie, Implementierung von Building Information Modeling (BIM) im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn AG – erste Fortschreibung [Online]. Zugriff am 15.09.2022. Verfügbar unter: https://www.deutschebahn.com/de/konzern/bahn-welt/bauen_bahn/BIM-6875938

buildingSMART international (2020): Technical Roadmap buildingSMART, Getting Ready for the Future [Online]. Verfügbar unter <https://www.buildingsmart.org/about/technical-roadmap>BIM-basierter Bauantrag (2020): Ergebnisse [Online], Zugriff am 15.05.2023. Verfügbar unter: <https://bim-bauantrag.blogs.ruhr-uni-bochum.de/projektergebnisse/>

11 Anhänge

Dieser Bericht enthält alle relevanten Informationen des Projekts. Weitere detaillierte Informationen sind in den unten aufgeführten Dokumenten zu finden. Auf diese Dokumente wird im Bericht an geeigneter Stelle verwiesen. Die Anhänge 08 und 09 werden auf der Website parallel zum Bericht veröffentlicht. Die anderen Anhänge können bei forschung@dzsf.bund.de angefragt werden.

| Dokumente | Anmerkungen |
|---|--|
| Anhang_01: Umfrage | enthält die Umfrage in der gleichen Form, wie sie an die Mitarbeitenden des EBA verteilt wurde. Wird als PDF-Datei eingereicht. |
| Anhang_02: Ergebnisse der Umfrage | enthält die verarbeiteten Daten aus der Umfrage. Die Daten sind sortiert, strukturiert und visuell dargestellt. Wird als PDF-Datei eingereicht. |
| Anhang_03: Präsentation des Workshops | enthält die Folien der Präsentation, die auf dem Workshop stattgefunden hat. Wird als PDF-Datei eingereicht. |
| Anhang_04: Protokoll des Workshops | enthält eine Dokumentation der Durchführung des Workshops. |
| Anhang_05: Ergebnisse der Umfrage (Rohdaten) | enthält die gesammelten Daten aus der Umfrage, geordnet nach Teilnehmenden, jedoch ohne weitere Aufbereitung oder visuelle Darstellung. |
| Anhang_06: Relevante Richtlinien, Regelwerke und Gesetze | enthält Informationen zu den relevanten Richtlinien, Regelwerken und Gesetzen, die mit den untersuchten Prozessen in Zusammenhang stehen, jedoch nicht die Dokumente selbst. |
| Anhang_07: Evaluation der identifizierten Prüfroutinen auf Basis der entwickelten Bewertungskriterien | enthält die durchgeführte Evaluation mit sämtlichen Einzelbewertungen. |
| Anhang_08: Steckbriefe | enthält alle Steckbriefe der prototypisch entwickelten Prüfroutinen. |
| Anhang_09: Anleitung für Prüfroutinen | enthält Anleitungen, die die Benutzerin/ den Benutzer bei der Verwendung der Prüfroutinen unterstützen. |
| Anhang_10: Attribute anhand SOM | enthält die aus SOM 2.0 abgeleiteten Attribute für die Attribuierung der Modelle im Beispielprojekt |
| Anhang_11: Dateinamenkonvention | enthält die Struktur der Namenskonventionen sowie die Nomenklatur der einzelnen Ebenen |

