

Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 191

bast

Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau

von

Markus Thewes
Götz Vollmann
Hendrik Wahl

Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb
Ruhr Universität Bochum

Markus König
Marcel Stepien

Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen
Ruhr Universität Bochum

Werner Riepe
Ferdinand Weißbrod

BUNG Ingenieure AG
Heidelberg

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 191

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 15.0623
Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau

Fachbetreuung
Anne Lehan

Referat
Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb,
Zivile Sicherheit

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48

www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-95606-737-2

Bergisch Gladbach, Juni 2023

Kurzfassung – Abstract

Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau

Im Zuge des Betriebs und der Erhaltung von Tunnelbauwerken des Bundesfernstraßennetzes resultieren erhöhte Anforderungen für den Betreiber bzw. für das Betriebspersonal. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine sichere Tunnelnutzung als auch bezüglich der immer wichtiger werdenden ökonomischen Optimierung im Hinblick auf die Lebenszykluskosten des gesamten Bauwerks und der Aufrechterhaltung bzw. der Erhöhung seiner Verfügbarkeit im Netz.

Ein Ansatz, der in Zeiten zunehmender Digitalisierung und durch politische Initiativen wie den BMVI-Stufenplan an Bedeutung gewinnt, ist die kooperative Arbeitsmethodik Building Information Modeling (BIM). Dadurch sollen einzelne Betriebsprozesse auf Basis eines digitalen Modells optimiert bzw. effizienter gestaltet werden. Ein BIM-basiertes Betriebsmodell wird dabei in der Regel im Zuge eines Handover-Prozesses (dt.: Übergabe) aus einem Ausführungs- bzw. As-built-Modell abgeleitet. Bisherige Entwicklungen zeigen jedoch, dass derzeit der Fokus verstärkt im Bereich der Planung und Ausführung von Tunnelbauwerken liegt und betriebliche bzw. erhaltungstechnische Aspekte weitestgehend nicht berücksichtigt werden.

Daher wurden im Forschungsprojekt die Grundlagen für ein BIM-basiertes Betriebsmodell von Straßentunnel entwickelt. Hierzu wurden zu einem bereits bestehenden, modelltheoretischen Grundsatz analysiert und ergänzend dazu, Anforderungen von Bauherren und Betreibern unter Berücksichtigung der betrieblichen Aspekte während des Lebenszyklus erfasst. Darauf aufbauen wurden für einzelne Anwendungsfälle die Informationsanforderungen für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement abgeleitet und ein komplementäres Datenmodell – basierend auf dem IFC-Standard – entwickelt. Die Ergebnisse wurden anhand eines Demonstrator-Modells veranschaulicht und evaluiert.

Building Information Modeling (BIM) in tunnel construction

In the course of the operation and maintenance of tunnel structures of the federal trunk road network, increased requirements result for the operator and for the operating personnel. This applies in particular with regard to safe tunnel use as well as to the increasingly important economic optimization with regard to the life cycle costs of the entire structure and the maintenance or increase of its availability in the network.

One approach that is gaining in importance in times of increasing digitization and through political initiatives such as the BMVI Staged Plan is the cooperative working methodology Building Information Modeling (BIM). This is intended to optimise individual operating processes or make them more efficient on the basis of a digital model. A BIM-based operating model is usually derived from an execution or As-built model in the course of a handover process. However, developments to date show that the focus is currently increasingly on the planning and execution of tunnel structures and that operational and maintenance aspects are largely not taken into account.

Therefore, the research project developed the basics for a BIM-based operational model of road tunnels. For this purpose, existing modeltheoretical principles were analysed and, in addition, the requirements of builders and operators were recorded, taking into account the operational aspects during the life cycle. Based on this, the information requirements for a BIM-based operation and maintenance management were derived for individual use cases and a complementary data model – based on the IFC standard – was developed. The results were illustrated and evaluated using a demonstrator model.

Summary

Building Information Modeling (BIM) in tunnel construction

As a result of an increasing digitization in the infrastructure sector, the working methodology "Building Information Modeling" is becoming more and more important, which is also notable by political initiatives such as the "BMVI-Stufenplan". While BIM for the operational phase is used mainly in the field of building construction, BIM practice and research for road tunnels currently focuses on the planning and execution phase. In this short report, the investigations of the research project, which was commissioned by BAST and accompanied by the BMVI are briefly presented. The Institute for Tunneling and Construction Management as well as the Institute for Computing in Engineering (both Ruhr University Bochum), supported by the engineering office BUNG, therefore developed the modeltheoretical basis for a BIM-based operation and maintenance management.

Assignment

The aim of this research project was to develop basic principles for a BIM-based operating model, based on existing modeltheoretical principles and a supplementary identification of the requirements of stakeholders and operators, enabling an optimised and efficient operation as well as structure maintenance in the road tunnels operating phase. In this context, operators requirements had to be identified for different use cases and potentials as well as effects of the BIM-usage should be demonstrated.

Research Methodology

The study was carried out in six working packages (WP) (see Figure 1).

Initially, the basics regarding the general application of BIM as well as operationspecific applications in the building and infrastructure sector were determined. Based on the first package, the specific operator requirements were identified to specify the boundary conditions for a (BIM) operating model for road tunnels. In this regard especially organizational, operational, and regulatory conditions were identified, and practical use cases were defined.

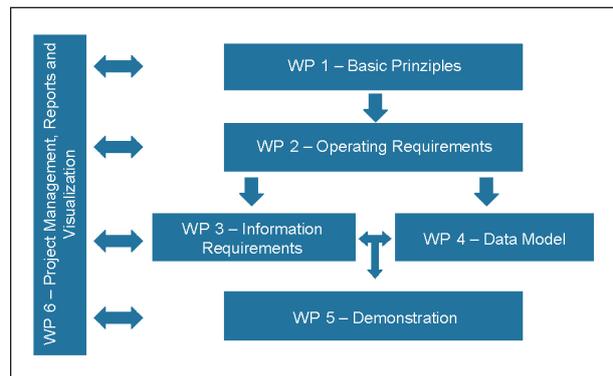


Fig. 1: Concept of investigation

For the implementation of a complementary data model, the identified operator requirements were transformed into corresponding information requirements in the form of so-called information delivery manuals (IDM). This also included the definition of requirements for individual information exchange points. Within a parallel work package an IFC-based data model was developed, to enable a lossless open data exchange for the BIM-based operation phase. Finally, the previously developed modeltheoretical principles were applied to a demonstrator (IFC-based road tunnel model) and further evaluated regarding the requirements.

Research result

The study was based on administrative, operational, and regulatory conditions of the operation phase, but also on previous elaborations about modeltheoretical approaches for the application of BIM, particularly in the field of infrastructure construction – like the contributions from the BIM4INFRA2020 working group, the DAUB working group "BIM in Tunneling", and the DEGES "BIM-Guideline".

In addition, expert interviews with representatives of state authorities were conducted as a part of the operator requirements analysis. While focusing on the identification of both further constraints and specific needs for BIM-based operations and maintenance management, the following objectives for the application of BIM were derived:

- Uniformly structured As-built documentation for a more efficient management of operational data
- Evaluation of operational data, e.g. by linking with software modules/tools
- Reduction of document management efforts through processes digitization, e.g. maintenance

based on digital working sheets and linking to the model

- Support for accounting of outsourced services
- Model and collision checks regarding operational concerns already early in the lifecycle

The information for the processes during road tunnel operation is generated in previous project phases (planning and execution) but the information is also partly available only after the final equipment of the tunnel. Thus, for the application of BIM, different information from the as built model needs to be transferred into an operating model and added correspondingly. Due to the increased workload for the creation and the ongoing model maintenance, the handover is to be considered as a separate task and therefore as an individual use case. Further information result from the different operation and maintenance processes, such as maintenance and inspection of technical installations, fault elimination, tunnel monitoring as well as in a broader sense the structural monitoring and inspection.

In a first step the information requirements resulting from the processes were summarised in the form of information delivery manuals (IDMs). Therefore, the process flows were examined extensively and starting from the current state, idealtypical BIM-based processes were derived.

Consequently, it was possible to identify individual exchange points between different actors of the road tunnel operation, for whom the specific information requirements were defined in form of the Level of Information Need (LOIN) in a further step. These requirements relate to specific use cases such as maintenance and inspection, individual model objects, the involved actors, and the point of exchange. Next to the semantic information in form of properties and property groups, the level of geometry and other demanded documents (e.g. the digital working sheets) were defined as well.

Furthermore, exchange requirements were identified. Referring to the results of the operator requirements analysis (and the corresponding BIM-objectives), concepts for digital work cards for maintenance and inspection as well as a BIM-based ticketing system for fault eliminations were developed. As the standardised structure of the containerbased approach with ICDDs (Information Container for linked Document Delivery) ensures a

lossless data exchange between all actors it was used for an overall data exchange.

For a modelbased mapping of the identified requirements, a data model based on the IFC standard was developed. Within this standard, elements are differentiated by means of spatial structures (Site, Building, Facility, etc.) and physical objects (Door, Wall, Rail, etc.). A facility provides the fundamental model structures and indicates the content as a building. Regarding tunnel structures the buildingSmart working group IFC Tunnel is currently developing new components as well as extensive structures for tunnel models, which could be partly implemented into the concept for the data model. Moreover, additional structures and classes have been considered, particularly based on national standards for data management of infrastructure facilities (here: the ASB-ING in conjunction with the OKSTRA-standard). As currently ongoing standardization measures will bring new developments, it is expected that there will be a need for adjustments at the operation and maintenance specific data model.

To meet the challenges of the increasing complexity in the description of structures respectively its equipment elements, a reduction of the existing class structure is aimed. This results in an extraction of the attributes from the classes transferring them into a set of properties. Within the data model they are represented through the `IfcPropertySet` class and base on the identified characteristics and characteristic groups. Model objects are thus semantically labeled and typified by specifying those properties. For instance, a model object can herewith be marked as relevant for maintenance by linking it to a characteristic group that contains inventory information (see also below).

The individual processes and the corresponding BIM use cases were implemented in a demonstrator with the help of a BIM-based model of the Kramer Tunnel. As this tunnel was still under construction during demonstrator development, artificial data based on available documents from the Branch-tunnel were used to simulate the operation and maintenance processes.

One essential step prior to the demonstration was the prototypical implementation of corresponding tools which enabled an applicationoriented as well as operation- and maintenancespecific handling of the model. The focus was laid on a tool (ICCD

Inspector) that supports both, the initialization of ICDD containers, in particular the semantic linking, and enables checking, filtering (partly based on queries) and visualization on the model.

The functionalities of the tool were validated during the demonstration. This particularly included the check for completeness as well as the filtering of the supplied information but also the creation and editing of digital working sheets. There is a noticeable optimization in the handling of the provided information, as it can be processed (partially) automatically. In future, it is important to increase the userfriendliness of the tools by means of further implementation efforts.

Conclusion and Outlook

In the course of the research project, a model-theoretical basis for a BIM-based operation and maintenance management of road tunnels was developed and successfully implemented using a demonstrator. Thereby it was possible to derive both information and exchange requirements for individual processes of the operation phase. This reveals the following potentials but also challenges for future practical implementations:

- Further development of the IFC data model for the tunnel operation phase, in particular the incorporation of new insights within the framework of national (e.g. DAUB recommendations) and international standardization (e.g. IFC Tunnel).
- Development of a platform (in the sense of a CDE) for a common data management for the operation and maintenance processes
- Extension and standardization of queries with rule language
- Further development of the tools regarding an optimised userfriendliness

With respect to further steps for the implementation of a BIM-based operation and maintenance management, the following approaches arise:

- Development of approaches for the purpose of integrating the existing infrastructure
- Investigation and development of concepts for ensuring data availability and data security
- Further standardization, both regarding lossless data exchange (IFC standard for tunnels) and

regarding the basic structuring of building structures information (e.g., standardization of service specifications) to reduce workloads and at the same time create comparability between different tunnel structures

Inhalt

1	Einleitung	9	3.3.3	Betriebstechnische Anforderungen . . .	51
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	9	3.3.4	Erhaltungstechnische Anforderungen	51
1.2	Vorgehensweise im Projekt und Struktur des Berichts	10			
2	Aktueller Stand der Technik	11	4	Praxisorientierte Identifizierung von BIM-Potenzialen für den Betrieb und die Erhaltung von Straßentunneln	52
2.1	Building Information Modeling (BIM) . . .	11	4.1	BIM-Ziele, Herausforderungen und Chancen	52
2.1.1	Technologische Stufen	12	4.2	Erweiternde Potenziale	54
2.1.2	BIM-Standards	13	4.3	BIM-Anwendungsfälle	56
2.1.3	Informationstiefe	15	5	Information Delivery Manual	58
2.2	Betrieb und Erhaltung von Straßentunneln	16	5.1	Allgemeine Vorgehensweise zum Informationsaustausch	58
2.3	Bisherige Umsetzungen von BIM-Anwendungen in Forschung und Praxis	17	5.1.1	Anwendung von Informationscontainern	59
2.3.1	Pilotprojekte des Bundes	17	5.1.2	Zusammenstellung des Level of Information Need (LOIN)	60
2.3.2	Praxiserfahrungen im Hoch- und Infrastrukturbau	23	5.2	Beschreibung einzelner Prozesse	61
2.3.3	Anknüpfungspunkte aus komplementären Forschungsprojekten	26	5.2.1	Übergabe der Bestandsdokumentation (Handover)	61
3	Organisatorische Vorgaben	32	5.2.2	Wartung und Inspektion	63
3.1	Administrative Randbedingungen	32	5.2.3	Störungsbeseitigung	66
3.1.1	Rechtliche Grundlagen	32	5.2.4	Bauwerksprüfung	71
3.1.2	Administrative Anforderungen aus Vorschriften und Empfehlungen	33	5.3	Hinweise zu den Funktionalen Teilen (Functional Parts)	76
3.1.3	Organisationsstruktur	35	6	Entwicklung eines Datenmodells basierend auf dem IFC-Standard . . .	77
3.1.4	Strategische Ziele	38	6.1	Konzept zur Erweiterung des IFC-Datenformats hinsichtlich der Anforderungen an die Betriebsphase	77
3.2	Betriebliche Randbedingungen	39	6.1.1	Allgemeine Hinweise zum Datenmodell	78
3.2.1	Bauwerksüberwachung und Bauwerksprüfung	39	6.1.2	Anpassung Struktur	80
3.2.2	Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung	41	6.1.3	Modellierung des Tunnelbauwerks auf Basis von IFC-Klassen	80
3.2.3	Überwachung des Tunnelbetriebs	46			
3.2.4	Notfallmanagement	48			
3.3	Regulative Randbedingungen	48			
3.3.1	Administrative Anforderungen	49			
3.3.2	Bautechnische Anforderungen	50			

6.1.4	Modellierung der Tunnelbetriebs- elemente auf Basis von IFC.	81	8.4.3	Filterung einzelner Modellobjekte.	105
6.1.5	Erfassung von betriebs- bzw. erhaltungsrelevanten Merkmalen.	83	8.4.4	Erstellung und Bearbeitung von digitalen Arbeitskarten	106
6.1.6	Beispiel zur Verlinkung von Dokumenten.	85	9	Fazit und Ausblick	107
6.2	Empfehlungen zur Umsetzung als praxisgerechtes Modell für die Betriebs- und Erhaltungsphase	86	9.1	Zusammenfassung und Fazit.	107
6.2.1	Anforderungen an die kollaborative Zusammenarbeit	86	9.2	Ausblick und Empfehlungen für weitere Ansätze	109
6.2.2	Pflege der Merkmalsdatenbank	87	Literatur		111
6.2.3	Hinweise zur Standardisierung.	88	Bilder		115
7	Prototypische Entwicklung von Hilfs- und Prüfwerkzeugen für die Anwendung am Modell	89	Tabellen		118
7.1	Digitale Dokumentenverwaltung.	89	Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter https://bast.opus.hbz-nrw.de abrufbar.		
7.2	Inspektion von Container-Inhalten	90			
7.2.1	Initialisierung der ICDD-Container	91			
7.2.2	Ausführung und Verarbeitung von Abfragen.	92			
7.2.3	Visualisierung.	93			
7.2.4	Filterung von Modellobjekten anhand von Eigenschaften	93			
7.2.5	Softwaretechnisches Konzept	94			
7.3	Validierung durch Model View Definition	95			
7.4	Potenziale einer Webplattform als CDE-Anbindung	95			
8	Demonstration	97			
8.1	Beschreibung des Demonstrator- Modells.	98			
8.2	Beschreibung der ausgewählten Anwendungsfälle	99			
8.3	Auswahl von praxisrelevanten Abfragen.	101			
8.4	Durchführung am Demonstrator.	102			
8.4.1	Prüfung der ICDD-Initialisierung für das Handover	102			
8.4.2	Abfrage relevanter Dokumente für Wartung und Inspektion	104			

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Der Betrieb und die Erhaltung eines Tunnelbauwerks des Bundesfernstraßennetzes stellen hohe Herausforderung für das Betriebspersonal bzw. den Betreiber dar. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund einer immer wichtiger werdenden ökonomischen Optimierung im Hinblick auf die Lebenszykluskosten des Bauwerks und der Aufrechterhaltung bzw. der Erhöhung seiner Verfügbarkeit im Netz.

Ein Ansatz, der in Zeiten zunehmender Digitalisierung und durch politische Initiativen wie den BMVI-Stufenplan [1] an Bedeutung gewinnt ist die kooperative Arbeitsmethodik Building Information Modeling (BIM). Dadurch sollen einzelne Betriebsprozesse auf Basis eines digitalen Modells optimiert bzw. effizienter gestaltet werden. Ein BIM-basiertes Betriebsmodell wird dabei in der Regel im Zuge eines Handover-Prozesses (dt.: Übergabe) aus einem Ausführungs- bzw. As-built-Modell abgeleitet.

Aktuelle Anwendung findet BIM als derartige Applikation überwiegend im Hochbau sowie im Brückenneubau, während für Straßentunnel bisher nur in Grundzügen solche digitalen Modelle entwickelt wurden. Als Problemstellung ergibt sich hierbei, dass vergleichbare Modelle aus dem Hochbau wegen der typischen Randbedingungen von Tunnelbauwerken nur begrenzt übertragbar sind. Dies gilt u. a. aufgrund der geometrischen Ausdehnung der Bauwerke und der damit verbundenen Mächtigkeit der Modelle sowie der für den Betrieb notwendigen komplexen sicherheitstechnischen Systeme und der vergleichsweise langen Lebensdauer des gesamten Bauwerks.

Die sicherheitstechnischen Systeme sind im Hinblick auf den effizienten Betrieb elementar und für eine schadensfreie Nutzung des jeweiligen Bauwerks zwingend notwendig. Zielstellung der Instandhaltung muss für den Bauwerksbetreiber stets sein, dass alle Systeme im Notfall mit einer Wahrscheinlichkeit von nahezu 100 % verfügbar sind, um das avisierte Sicherheitsniveau des Bauwerks für dessen Nutzer bereitstellen zu können. Vor diesem Hintergrund unterscheiden sich zudem die theoretischen Nutzungsdauern der für den Betrieb notwendigen Ausstattungselemente erheblich von denen der Konstruktion, was die Realisierung einer technisch und ökonomisch optimierten und effizien-

ten Instandhaltung zu einer komplexen Herausforderung macht. Hierbei können BIM-Modelle theoretisch dazu genutzt werden, korrespondierende Informationen systematisch zu erfassen und für das Instandhaltungsmanagement zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus bestehen auch Potenziale zur Kopplung mit weiteren Analyseansätzen während des Betriebs, bspw. der Lebenszykluskostenanalyse oder der Risikoanalyse von Straßentunnel.

Um den Einsatz von BIM als digitale Planungsmethode voranzutreiben, fördert das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) derzeit die Begleitung von BIM-Pilotprojekten auf Schiene, Straße und Wasserstraße bis zum Jahr 2020, aufgeteilt in zwei Pilotphasen. Im Rahmen einer ersten Pilotphase wurde im Pilotprojekt „Tunnel Rastatt (Bahn)“ des BMVI die BIM-Methodik schwerpunktmäßig in den Lebenszyklusphasen Planung und Bau für den Tunnelrohbau angewendet. Auch die Tunnelausstattung sollte im Pilotprojekt „Tunnel Rastatt (Bahn)“ mit Hilfe von BIM geplant werden. Aufgrund starker Verzögerungen im Bauablauf ist dessen Fertigstellungstermin zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Berichts immer noch nicht bekannt ist, lässt sich jedoch nicht abschätzen, ob diese Ziele weiterhin verfolgt werden können und sollen.

In der zweiten Pilotphase des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ des BMVI werden derzeit anhand der sich aktuell im Bau befindlichen östlichen Tunnelkette der A44 in Hessen weitere HOAI-Leistungsphasen in Kombination mit BIM untersucht. Primärer Fokus liegt allerdings auch hier auf der Optimierung der Planungs- und Bauprozesse und weniger auf betrieblichen Szenarien und den dafür notwendigen Datenstrukturen.

Dieser Umstand bedingt, dass viele der für den Betrieb (und teilweise auch die Erhaltung) notwendigen Daten derzeit nicht in den erstellten Modellen angelegt bzw. verfügbar sind. Weiterhin gilt, dass ein substanzieller Teil der in den Modellen für Planung und Bau notwendiger Weise hinterlegten Datenstrukturen nur nachrangige Bedeutung für den Betriebszeitraum besitzen. Ein für die Planungs- und Bauphase entworfenes Straßentunnelmodell erfordert jedoch eine deutliche Erweiterung (insbesondere hinsichtlich der Ausstattung) und gleichzeitig eine Zusammenfassung (der Daten aus Planung und Bau), um einen optimierten und effizienten Betrieb sowie die Erhaltung des Bauwerkes mithilfe des Modells ermöglichen zu können. Hierfür ist die Entwicklung neuer Modellierungsregeln auf Basis

spezifischer Informationsanforderungen notwendig, die zum einen den sicherheitstechnisch und ökonomisch optimierten Betrieb und die Erhaltung während der Betriebsphase und zum anderen ein sauberes Handover, also einen verlustfreien Übergang von Bau- in die Betriebsphase, ermöglichen. Dies erfordert darüber hinaus die Implementierung der BIM-Methodik in die aktuellen Prozessabläufe.

Ziel dieses Forschungsprojektes war es daher, auf Basis bereits bestehender modelltheoretischer Grundsätze und ergänzender Erfassung der Anforderungen von Bauherren und Betreibern, Grundlagen für ein BIM-basiertes Betriebsmodell zu entwickeln, die dann in der Betriebsphase von Straßentunnel einen optimierten und effizienten Betrieb und Erhaltung der Bauwerke ermöglichen. Dieses Modell sollte idealtypisch an einem Demonstratorbauwerk eingesetzt und die Funktionalität desselben verifiziert werden.

1.2 Vorgehensweise im Projekt und Struktur des Berichts

Die Konzeptionierung und Untersuchung von modelltheoretischen Grundlagen für ein BIM-basiertes Betriebsmodell von Straßentunnel wurden maßgeblich in fünf Phasen durchgeführt:

In einem ersten Schritt wurden die Grundlagen analysiert. Dies umfasste auf der einen Seite sowohl die allgemeine Anwendung von BIM als auch den grundlegenden Ablauf der Betriebsphase von Straßentunneln. Darüber hinaus wurden Erfahrungen aus der Praxis, aus tunnelbauspezifischen Pilotprojekten mit BIM-Bezug (u. a. Tunnelkette A44) sowie komplementären Forschungsprojekten und Initiativen (u. a. BIM4INFRA2020) untersucht und Erkenntnisse für die weitere Projektbearbeitung hieraus abgeleitet (Kapitel 2).

Darauf aufbauend wurden sodann die spezifischen Betreiberanforderungen identifiziert, welche die Randbedingungen für das anvisierte (BIM-)Betriebsmodell für Straßentunnel bilden. Im Allgemeinen mussten dazu entsprechende Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen hinsichtlich der regulativen Vorgaben analysiert werden, wobei die Erfahrungen im Umgang mit aktuellen Bauwerken des Bundesfernstraßennetzes zeigten, dass die Anforderungen über die rein regulativen Vorgaben hinausgehen müssen, um spezifische Eigenheiten des Betriebs vor Ort abbilden zu können. Eine spezifi-

sche Ausrichtung auf Neustrukturierungen im Bundesfernstraßennetz (Stichwort: Autobahn GmbH) erfolgte dabei nicht, da die für dieses Projekt relevanten Strukturen auch weiterhin Gültigkeit besitzen. Daher wurde im Rahmen der Analyse die Durchführung von Experteninterviews mit Vertretern von Landesbehörden als zwingend notwendig angesehen, um sowohl die administrativen und betrieblichen Randbedingungen als auch den spezifischen Bedarf für ein BIM-basiertes Betriebskonzept in Form von Anwendungsfällen konkret zu erfassen (Kapitel 3).

Zur Umsetzung in ein komplementäres Datenmodell ließen sich die identifizierten Betreiberanforderungen in entsprechende Informationsanforderungen überführen. Diesbezüglich wurden im Rahmen der Untersuchungen sog. Information Delivery Manuals (IDMs) erstellt, die mit Bezug auf die identifizierten Anwendungsfälle sowohl die BIM-basierten Betriebsprozesse und die daraus resultierenden Austauschforderungen abbilden. Darüber hinaus wurden die notwendigen Detaillierungstiefen in Form von LOINs (Level of Information Need) spezifiziert. Diese beziehen sich dabei maßgeblich auf die Anforderungen einzelner Austauschpunkte innerhalb der Prozesse (Kapitel 4 und 5).

Parallel dazu fand die Entwicklung eines IFC-basierten Datenmodells statt, welches zukünftig theoretisch einen verlustfreien, offenen Datenaustausch für die BIM-gestützte Betriebsphase gewährleistet, sowie die Entwicklung prototypischer Hilfs- und Prüfwerkzeuge für die Modellanwendung (Kapitel 6 und 7).

Die erarbeiteten modelltheoretischen Grundlagen sowie die entsprechend angepassten Prozessabläufe wurden abschließend an einem Demonstrator-Bauwerk (IFC-Modell eines Straßentunnelbauwerks) umgesetzt und weiter bezüglich der Anforderungen evaluiert (Kapitel 8).

Im vorliegenden Bericht sind zusätzlich zu den ausführlichen und detaillierten Beschreibungen der Arbeitsprozesse auch die aggregierten Ergebnisse in Form verschiedener Anhänge angefügt. Diese setzen sich wie folgt zusammen:

- Anhang 1: Regulative Anforderungen
 - In diesem Anhang sind die analysierten Normen, Richtlinien und sonstige Regelwerke und Hinweise aufgeführt und deren Inhalte tabellarisch hinsichtlich der strukturierten und unstrukturierten Informationen sortiert.

- Anhang 2: Informationsanforderungen nach DIN EN 17412-1

In diesem Anhang sind die für den Betrieb von Straßentunneln entwickelten LOINs abgelegt. Für die Zusammenstellung der LOINs, maßgeblich für die entsprechenden Objekte und Zwecke, wurden Templates basierend auf den Festlegungen gemäß DIN EN 17412-1 erstellt. Diese können künftig im Sinne der Informationsanforderungsdefinition verwendet werden

- Anhang 3: Funktionale Teile und IFC-Substitutionstabelle

In diesem Anhang sind funktionalen Teil und ihre IFC-Substitute abgelegt. Die Auflistung der funktionalen Teile orientiert sich anhand der Aggregationen innerhalb der ASB-ING und nicht anhand der Vererbung. Dadurch wird die Kompatibilität über definierte Merkmalsgruppen und Merkmale zur Ableitung der Klassen-Hierarchie in IFC ermöglicht.

- Anhang 4: Katalog der Merkmalsgruppen und Merkmale

Dieser Anhang enthält alle entwickelten Merkmalsgruppen und Merkmale, die bei künftiger Modellierung eines Betriebsmodells auf Basis

der hier vorgelegten Analysen herangezogen werden sollten.

- Anhang 5: XSD-Schemata

Dieser Anhang enthält alle im Projekt entwickelten XSD-Schemata, bspw. zur Erstellung der digitalen Arbeitskarten.

Zusätzlich stellen die Autoren des Berichts ein Handbuch zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Umsetzung der Modellierung unter Zuhilfenahme der vorliegenden Erkenntnisse skizziert wird.

2 Aktueller Stand der Technik

2.1 Building Information Modeling (BIM)

Im Zusammenhang mit Straßentunnelbauwerken beschreibt der Begriff des BIM eine kollaborative Arbeitsmethodik auf Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks, welche die konsistente Erfassung und Verwaltung von Informationen und Daten während des Lebenszyklus ermöglicht. Ziele und Herangehensweisen für eine ganzheitliche und flächendeckende Anwendung von BIM wurden erst-

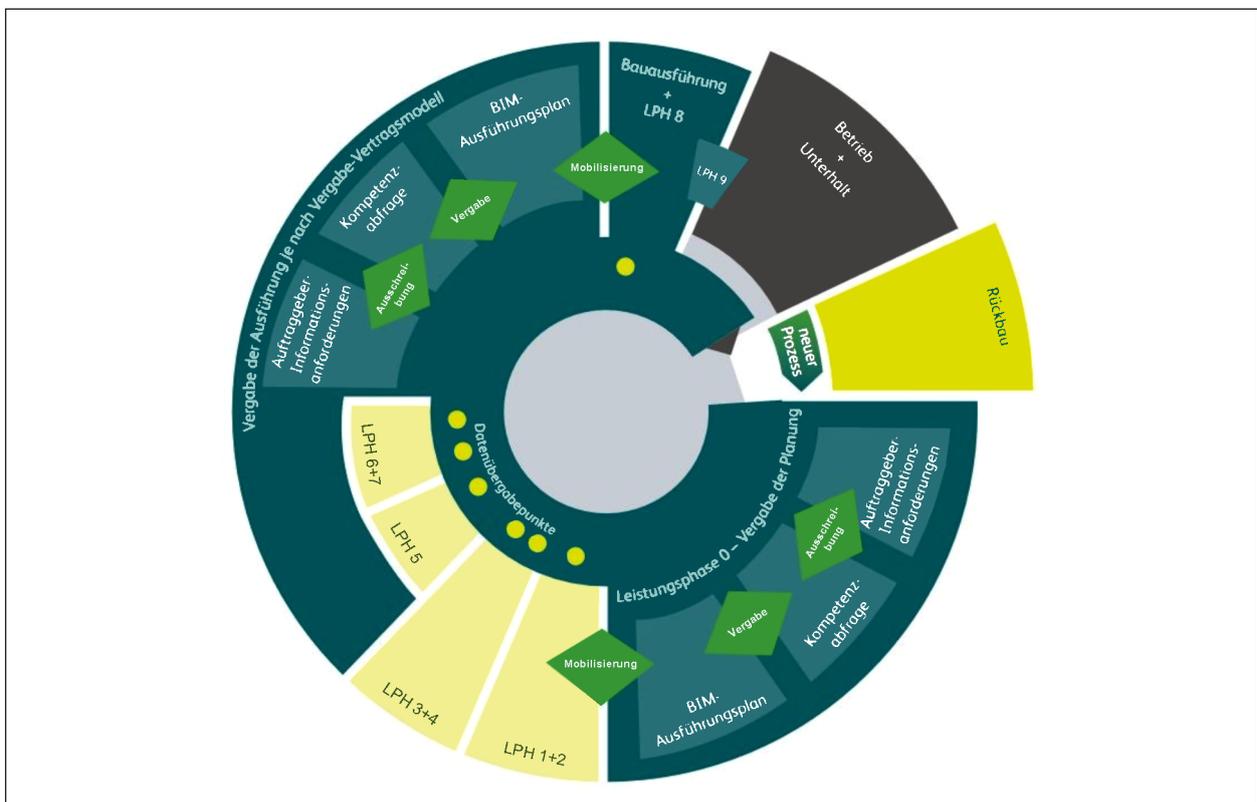


Bild 2-1: BIM-Referenzprozess entlang der HOIA-Leistungsphasen [2]

mals im „Stufenplan Digitales Bauen und Betreiben“ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) definiert, in dem der Einsatz von BIM ab 2020 für neu zu planende Vorhaben zwingend vorgeschrieben wird. [1], [2]

Der Stufenplan beinhaltet ebenfalls die Spezifizierung eines übergeordneten BIM-Referenzprozesses (siehe Bild 2-1) auf Basis der HOAI-Leistungsphasen. Zur Ausschreibung einer BIM-Leistung sind dazu vom Auftraggeber sogenannte Informationsanforderungen (AIA) festzulegen, in denen genauer zu spezifizieren ist, welche Daten zu welchem Zeitpunkt benötigt werden. Er ist zudem verantwortlich für die Erstellung eines BIM-Abwicklungsplan (BAP), in dem die Prozesse zur Herstellung der geforderten Daten festgelegt sind, sowie für die Überprüfung einer vorhandenen BIM-Kompetenz beim Auftragnehmer. Die gelben Punkte in der Abbildung stellen den Zeitpunkt zur Übergabe der Daten an den Auftraggeber während der unterschiedlichen Leistungsphasen dar.

Grundsätzlich müssen auch Modelle für die Betriebsphase diesen Vorgaben genügen. Dies gilt insbesondere, um das Handover – also die Modellübergabe von der Bau- zur Betriebsphase – reibungsfrei und ohne Wissensverlust realisieren zu können. Hierzu ist es notwendig, dass eine einheitliche Vorgehensweise über alle Leistungsphasen hinweg eingehalten wird.

2.1.1 Technologische Stufen

Die Transparenz der Informationsübergabe innerhalb einer Organisation und zwischen weiteren Akteuren im Rahmen eines Projekts hängt in Bezug auf den BIM-gestützten Informationsaustausch von verschiedenen technologischen Stufen ab:

Hinsichtlich der Durchgängigkeit von Informationen wird zwischen dem sog. little und big BIM unterschieden, während die Offenheit des Datenaustausches mit den Begriffen open und closed BIM beschrieben wird. Digitale Gebäudemodelle, welche nur zur Ableitung von Plänen herangezogen und in weiteren Phasen nicht weiterverwendet werden (sondern lediglich fachspezifisch vom Planer innerhalb eines Büros), beschreiben das little BIM-Prinzip. Im Gegensatz dazu ermöglicht big BIM eine durchgehende, fachübergreifende Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten, bspw. über Internetplattformen und Datenbanklösungen. [2]

Closed BIM beschreibt die Anwendung einer Software-Lösung, welche in der Regel inkompatibel zu anderen Programmen bzw. externen Lösungen verschiedener Fachdisziplinen ist. Diese Lösung eignet sich deshalb vermehrt für die Generalplanung von Projekten innerhalb einer Firma, während der Austausch zwischen mehreren Beteiligten oftmals einen offenen Datenaustausch (open BIM) erfordert. Als herstellernerutraler Austauschstandard

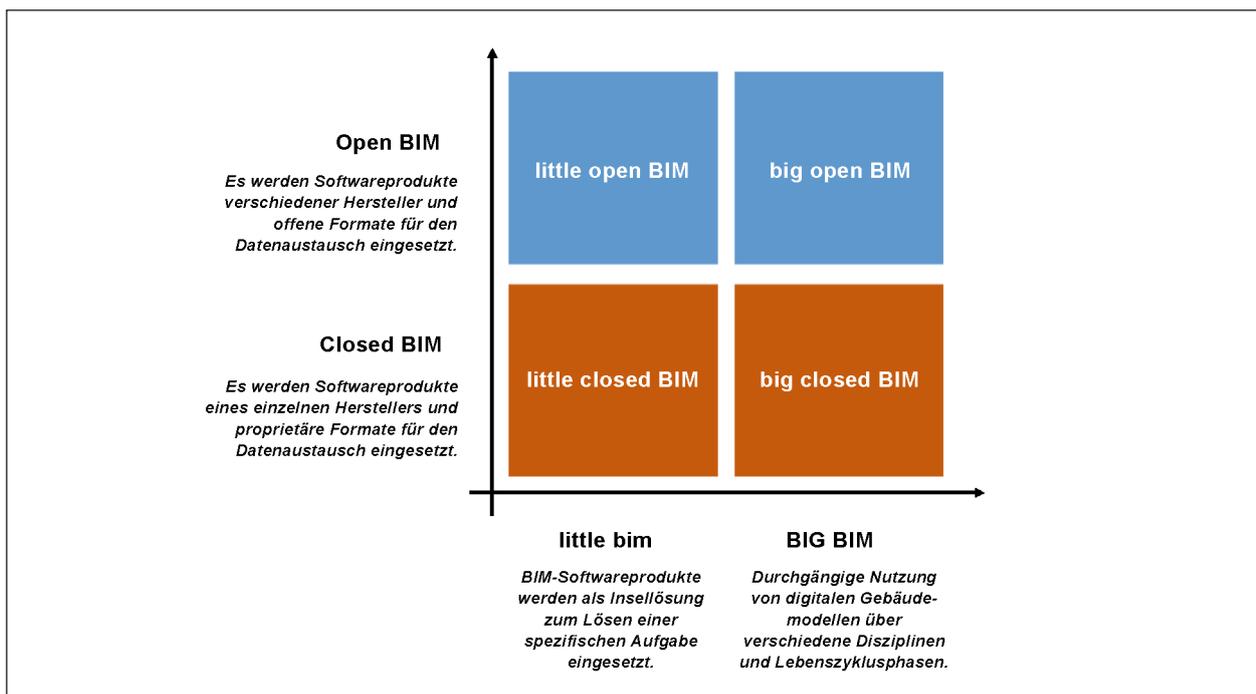


Bild 2-2: Unterscheidung little, big, open und closed BIM [2]

werden hierzu auf nationaler und internationaler Ebene die Industry Foundation Classes (IFC) definiert. [2] Die unterschiedlichen Lösungen können ebenfalls miteinander kombiniert werden.

2.1.2 BIM-Standards

Nachfolgend werden herstellerneutrale Datenstandards bezüglich der digitalen Informationsweitergabe und dem Austausch digitaler Gebäudemodelle erläutert. Diese werden insbesondere dazu benötigt, um den verlustfreien Austausch von BIM-Modellen zwischen einzelnen Akteuren (bzw. gegebenenfalls unterschiedlichen Softwareprodukten) zu gewährleisten. Wichtige Anforderung an den jeweiligen Austauschstandard ist dabei, dass definierte Informationsanforderungen, so wie sie bspw. in den AIAs definiert sind, allgemeingültig abgeleitet bzw. abgebildet werden:

Industry Foundation Classes (IFC)

Das IFC ist ein herstellerneutraler Datenstandard, welcher inzwischen innerhalb zahlreicher Softwarelösungen durch sog. IFC-Schnittstellen einen offenen Datenaustausch ermöglicht. Veröffentlicht wurde das IFC erstmalig im Jahre 1997 als Version IFC 1.0 (aktueller Stand 2019: IFC-Version 4) von der nonprofit Organisation buildingSMART International. [2]

Zur Erweiterung des IFC-Standards werden auf nationaler und internationaler Ebene weitere Projekte zur Entwicklung von komplementären Datenstrukturen vorangetrieben. Insbesondere hinsichtlich Infrastrukturbauwerken ermöglicht IFC-Alignment den Datenaustausch zur digitalen Beschreibung von Trassierungsbauwerken, welche im Vergleich zu Hochbauwerken eine größere räumliche Ausdehnung besitzen (Punktbauwerk vs. Linienbauwerk). Es ist vorgesehen, dass zur Beschreibung von Tunnelbauwerken das Standardformat IFC-Tunnel entwickelt wird – die Entwicklung hierzu wird derzeit vorangetrieben. Eine Entwicklung von entsprechenden Attributen und Merkmalen findet jedoch derzeit im Rahmen der Weiterschreibung der DAUB-Empfehlungen „BIM im Untertagebau“ [4] statt.

Property Sets stellen eine Erweiterung von Merkmalen im IFC-Modell dar. Grundsätzlich ist dabei innerhalb eines Schemas zwischen zwei Merkmalsdefinitionen zu unterscheiden: Statische Merkmale wie beispielsweise die Breite und Höhe von Türen

sind standardmäßig im Schema hinterlegt. Um ein sog. Überladen des Modells durch zu viele Informationen zu vermeiden, können weitere Attribute dynamisch auf Grundlage der Subklasse „IfcProperty“ erzeugt werden. Somit lassen sich einzelne Klassen beliebig um weitere Eigenschaften, die das Objekt näher beschreiben (ggf. hinsichtlich des vorgesehenen Anwendungsfalls), ergänzen. [2]

OKSTRA

Auf nationaler Ebene bildet der „Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen“ (OKSTRA) einen aktuellen Datenaustauschstandard, der zur Beschreibung von Objekten (u. a. Straßen, Brücken und Tunnel) entwickelt wurde. Der Standard basiert dabei auf einem objektorientierten Datenmodell und wurde mit dem allgemeinen Rundschreiben Straßenbau 12/2000 für den Bereich der Bundesfernstraßen eingeführt. Eine detaillierte und umfangreiche Dokumentation zum OKSTRA-Standard findet sich auf der Webseite. [5]

Im Kern setzt sich OKSTRA aus mehreren Teilschemata zusammen. Neben den Basisschemata (bspw. Datentypen, Basiseinheiten, Allgemeine Objekte), welche die Grundlage des Datenmodells bilden, gibt es weitere Fachschema, die sich auf einzelne Domänen fokussieren. Straßentunnel werden dabei durch das Fachschema S_Bauwerke.xsd abgedeckt, welches auf den Anforderungen gemäß ASB-ING [6] basiert. Das derzeit abgebildete Datenmodell umfasst bereits die Inhalte der neuen ASB-ING, welche aktuell überarbeitet wird und noch nicht veröffentlicht ist (Stand: 01.07.2021).

Aktuell verwendet der OKSTRA-Standard die abgebildete Objektart Tunnel mit den jeweiligen Attributen, die von den Objektarten Bauwerk, Teilbauwerk und Tunnel_Trogbauwerk erbt. Das bedeutet, dass die übergeordnet erfassten Attribute ebenfalls der Objektart Tunnel zugeordnet werden. Neben allgemeinen Informationen wie Bauwerksart und geometrischen Merkmalen (bspw. Länge der geschlossenen Röhre, Querschnitt etc.) sowie Informationen aus Planung und Ausführung (Geologie, Bauverfahren, Vortriebsverfahren etc.) enthält die Objektart auch ausstattungs- bzw. betriebsrelevante Attribute. Diese umfassen bspw. Angaben zur Beleuchtung, Lüftung und Sicherheitseinrichtungen und sind als komplexe Datentypen abgebildet, um im Vergleich zu den Basisdatentypen eine größere Informationsmenge abbilden zu können. Im Vergleich

zur älteren OKSTRA-Version bzw. der älteren Ausgabe der ASB-ING (aktuell noch gültig) zeigt sich, dass im Zuge der Überarbeitung hinsichtlich der Ausstattung bzw. der Tunnelsicherheit im Allgemeinen mehr Informationen abgebildet werden. Auf detaillierte Unterschiede wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht eingegangen, die einzelnen Attribute des aktuellen OKSTRA-Standards für Bauwerke können [7] entnommen werden.

Insgesamt ist der OKSTRA-Standard als typenbasiertes Modell zu beschreiben, welches spezifisch auf das Straßen- und Verkehrswesen abgestimmt ist. Hier liegt auf der einen Seite ein Vorteil gegenüber dem IFC-Standard, da OKSTRA die nationalen Anforderungen hinsichtlich der abzuspeichernden Informationen erfüllt. Auf der anderen Seite sind Änderungen bzw. Erweiterungen des Datenmodells, welche bspw. durch spezifische Bauwerksabweichungen auftreten können, nicht möglich.

Die aktuellen Entwicklungen (u. a. Überarbeitung der ASB-ING) zeigen jedoch, dass der Standard derzeit insbesondere hinsichtlich der Anwendbarkeit für BIM angepasst wird. Als Beispiel ist hier die Möglichkeit zu benennen, zukünftig Bauwerke hinsichtlich ihrer 3D-Geometrie zu definieren und durch generische Grundfunktionen (ähnlich wie PropertySets) das Datenmodell zu erweitern.

Construction-Operations Building Information Exchange (COBie)

COBie ist ein Datenaustauschstandard, welcher verschiedene Formate nutzt, unter anderem auch das IFC. COBie bezieht sich speziell auf den Gebäudebetrieb und kann folgende Daten beinhalten [8]:

- Ausrüstungs- und Inventarlisten
- Ersatzteillisten
- Produktdatenblätter
- Informationen zu Gewährleistungen
- Wartungspläne

Diese Daten werden in Form von Tabellenblättern festgehalten, welche für die den Betrieb und die Wartung der Ausstattung relevant sind. Dabei werden Informationen, wie zum Beispiel Herstellerangaben oder Wartungsintervalle eines Gerätes in alphanumerischen Attributen angegeben und können mithilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen geöffnet und bearbeitet werden. Des Weiteren ist es

ebenfalls möglich, vorgefertigte Datenblätter, welche dem COBie implizit sind, zu verwenden, jedoch lassen sich keine Leistungskennndaten mit den entsprechenden Objekten verknüpfen, was diesen Standard im Prinzip für betriebliche Anwendungen bei Tunneln ausschließt. [2] [8]

CAFM-Connect

CAFM-Connect [9] ist ein offener Standard basierend auf der IFC-Struktur zur Erfassung und zum Austausch von Daten des Facility Managements zwischen CAFM-Systemen und BIM-Modellen. Der Standard umfasst dabei u. a. BIM-Profile für den Hochbau, die spezifische Anwendungsfälle und die dafür relevanten Daten beschreiben (bspw. Glasreinigung, Leuchtmittelwechsel, Ersatzteilmanagement [10]). Die daraus ableitbaren Anforderungen können als Vertragsgrundlage in den AIAs festgelegt werden.

Ein weiterer Bestandteil ist das Softwareprogramm CAFM-Connect Editor, welcher die Erfassung und den Import von FM-Daten unterstützt. Dabei wird dem Nutzer ermöglicht, Informationen auf Grundlage eines BASIS BIM-Profils zu erfassen. Die Strukturierung erfolgt dabei nach Räumen innerhalb des Gebäudes, die gemäß Nutzungsart nach DIN 277-2 [11] klassifiziert werden. Den entsprechenden Räumen werden Bauteiltypen nach DIN 276 [12] zugeordnet. Räume und Bauteile können zudem mit entsprechenden Dokumenten verknüpft werden, wobei die Einteilung von Dokumententypen in Anlehnung an die GEFMA-Richtlinie 198 [13] erfolgt. Die hinterlegten Gebäudedaten werden basierend auf dem IFC-Standard abgespeichert und können in ein entsprechend kompatibles CAFM-System integriert werden. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, die erfassten FM-Daten in andere BIM-Tools mit kompatibler Schnittstelle zu überführen.

Weitere Ausarbeitungen durch Organisationen

Neben den Entwicklungen hinsichtlich der unterschiedlichen Datenaustauschstandards finden in Deutschland im Bereich von Straßentunnel weitere Ausarbeitung zur Unterstützung einer BIM-Implementierung statt. Besonders hervorzuheben sind hier die Arbeitsgruppe „BIM im Untertagebau“ des Deutschen Ausschusses für Unterirdisches Bauen (DAUB) sowie die Deutsche Einheit Fernstraßenplanung und -bau GmbH (DEGES) mit dem BIM-Leitfaden.

Die DAUB-Empfehlungen aus dem Jahr 2019 zu BIM im Untertagebau [4] legen bspw. eine erste Hilfestellung zur Implementierung der BIM-Arbeitsmethodik für Tunnelbauwerke fest. Dies inkludiert bspw. die Beschreibung von potenziellen Anwendungsfällen als auch ein Vorschlag zur Verwendung von geometrischen Informationstiefen eines Tunnelbauwerks. Der Fokus liegt hier insbesondere auf der Planung und Ausführung, während betriebliche Aspekte lediglich grob erfasst werden. Als Ergänzung dazu, wurde 2020 Modellanforderungen (Objektdefinition, Codierung und Merkmale) [14] veröffentlicht. Auch hier zeigt sich der Fokus derzeit vermehrt bei den Anforderungen an Projektinformationen. Grundsätzlich ist geplant, aufbauend auf den bisherigen Entwicklungen, weitere Konkretisierungen vorzunehmen.

Im Vergleich dazu wird im Zuge des BIM-Leitfadens [15] der DEGES eine praxisorientierte Handlungsempfehlung zum Einsatz von BIM im Infrastrukturbereich gegeben. Dieser Leitfaden basiert maßgeblich auf den bisherigen Erfahrungen, die die DEGES im Umgang mit BIM gemacht hat (seit 2014). In Ergänzung dazu konkretisieren weitere Dokumente (bspw. BIM AIA-Muster, BIM BAP-Muster, BIM LOD-Konzept) entsprechende Anforderungen bzw. stellen Grundlagen zur weiteren Anwendung von BIM dar.

2.1.3 Informationstiefe

Vergleichbar mit unterschiedlichen Maßstäben bei technischen Zeichnungen in der analogen Planung und Ausführung von Bauprojekten, ist auch für die

Anwendung von digitalen Modellen in unterschiedlichen Phasen ein abweichender Detaillierungsgrad erforderlich. Beinhaltet ein Modell zu viele und ggf. redundante Informationen, kann dies dazu führen, dass das Modell überladen und lediglich in eingeschränkter Form weiterhin verwendbar ist. Im Rahmen einer Literaturrecherche zur Beschreibung der Informationstiefe von Modellen wird deutlich, dass unterschiedliche Definitionen vorhanden sind, welche teilweise voneinander abweichen. Zur einheitlichen Anwendung im Rahmen dieses Projektes wird u. a. auf die verwendete Einteilung der DAUB-Empfehlung „BIM im Untertagebau“ zurückgegriffen [4]:

- LoG: Level of Geometry
Beschreibt den geometrischen Detaillierungsgrad eines Modells hinsichtlich modellierter Inhalte (bspw. Detaillierungsgrad einzelner Bauteile, Darstellung des Bauwerks).
- Lol: Level of Information
Beschreibt den Informationsgehalt je Bauteil in Form von Attributen.
- LoD: Level of Detail
Bestehend aus der Summe von LoG und Lol.

Die TU München gibt in [16] eine beispielhafte Definition von Detaillierungsgraden für einen Tunnel auf Basis des IFC-Standards. Während LoD 1 lediglich durch eine Kurvenlinie dargestellt wird (entsprechend der geplanten Trassierung), sind Räume auf der höheren Ebene immer von Räumen aus einer niedrigen Ebene umschlossen (siehe Bild 2-3, bspw. LoD 3 und LoD 4). Physische Objekte wer-

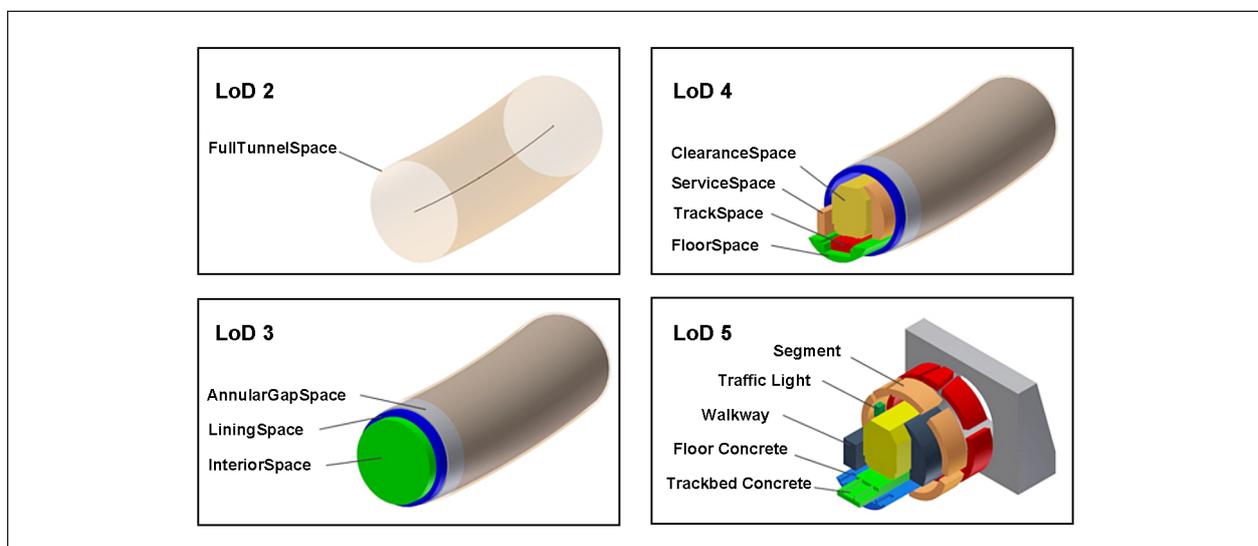


Bild 2-3: 3D-Darstellung der verschiedenen LoDs des mehrskaligen Tunnelproduktmodells [16]

den dabei nur auf der höchsten Ebene dargestellt, hier LoD 5.

- LOD: Level of Development
Ausarbeitungsgrad des Modells hinsichtlich der Anforderungen, welche sich aus den unterschiedlichen Anwendungsfällen und Projektphasen ergeben.

Ein weit verbreitetes Anwendungsbeispiel für den LOD ist dabei die Definition des American Institute of Architects (AIA) [17] und dem amerikanischen BIMforum [18]. Dort findet eine Einteilung von LOD 100 bis LOD 500 statt. Dabei stellt LOD 100 eine vereinfachte grafische Repräsentation dar, bei der elementbezogene Informationen aus anderen Modellelementen abgebildet werden können. Im Vergleich dazu besitzen Objekte mit einem LOD 400 einen hohen Reifegrad, bei dem Größe, Abmessungen, Form, Position, Orientierung sowie Schnittstellen zu anderen Gebäudesystemen spezifisch dargestellt werden. Der LOD 500 beschreibt den detaillierten IST-Zustand des Objektes nach Bau (As-built).

Aktuelle Entwicklungen und Standardisierungsarbeiten zeigen, dass das Konzept des LOD zunehmend durch das Konzept des Level Information Need (LOIN) ersetzt wird (u. a. gemäß DIN EN ISO 19650-1 [19] und EN ISO 17412-1 [20]).

Der LOIN legt für einen bestimmten Zweck bzw. Anwendungsfall den Detaillierungsgrad von auszutauschenden Informationen hinsichtlich der Geometrie (Level of Geometry – LOG), der semantischen Informationen (Level of Information – LOI) und der Dokumentation (DOC) fest. Da die erforderlichen Informationen für einzelne Objekte trotz demselben Anwendungsfall abweichen können, sind dementsprechend unterschiedliche LOIN-Beschreibungen für einzelne Objekte zu erstellen. Weitere Angaben sind die Meilensteine zur Informationslieferung, welche den Zeitpunkt der Lieferung der beschriebenen Informationen festlegen soll, sowie die Akteure, die im Rahmen der Anforderung bzw. Lieferung beteiligt sind. Wie bei den Objekten, kann es auch erforderlich sein, den LOIN für unterschiedliche Meilensteine (gleiche Objekte, gleicher Zweck bzw. Anwendungsfall, gleiche Akteure) oder für verschiedene Akteure zu definieren [20].

2.2 Betrieb und Erhaltung von Straßentunneln

Um ein für Straßentunneln anwendbares und BIM-basiertes Betriebsmodell entwickeln zu können, sind die spezifischen Betriebspunkte der Straßentunnel zu identifizieren, die in einem solchen Modell abgebildet und evaluiert werden müssen. Hierzu werden nachfolgend die einzelnen Betriebspunkte grob dargestellt, um diese zu einem späteren Zeitpunkt genauer zu analysieren und in das entstehende Datenmodell einzupflegen.

Die Lebenszyklusphasen von Infrastrukturbauwerken können gemäß ASB-ING [6] und RI-WI-BRÜ [21] in die Phasen, Bau, Erhaltung, Ertüchtigung und Verwertung eingeteilt werden. Aufgrund einer wesentlich komplexeren Betriebstechnik, welche in Straßentunneln aus betriebs- bzw. sicherheitstechnischen Aspekten verbaut ist, erfolgt gemäß DAUB-Empfehlung [22] eine differenzierte Betrachtung des konstruktiven Tragwerks basierend auf den oben beschriebenen Phasen und der betriebstechnischen Ausstattung (siehe Bild 2-4 und Bild 2-5).

Die Einteilung der einzelnen Prozesse der Instandhaltung erfolgt in Anlehnung an die DIN 31051 [23], welche ebenfalls in den EABT-80/100 [24] aufgegriffen wird. Dort sind in Verbindung mit der RABT 2006 [25] und der M KWPT [26] auch weitere Informationen zum Betrieb enthalten.

Eine detaillierte Analyse der jeweiligen Phasen des Straßentunnelbetriebs erfolgt in Kapitel 3.2.

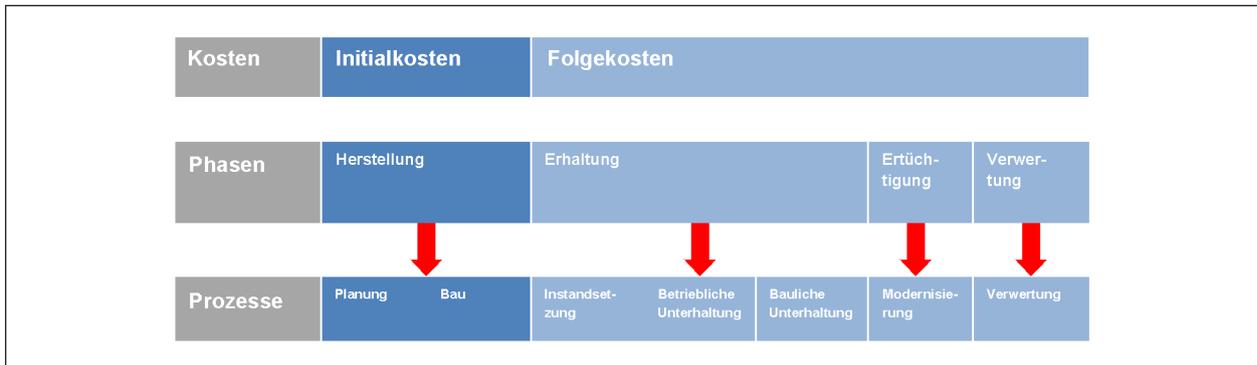


Bild 2-4: Kosten, Phasen, Prozesse in der Lebenszyklusbetrachtung von Tunnelbauwerken [22]

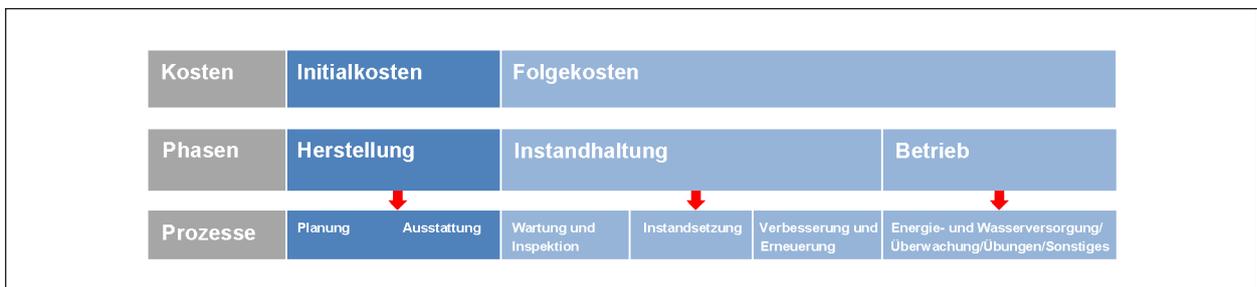


Bild 2-5: Kosten, Phasen, Prozesse in der Lebenszyklusbetrachtung von Tunnelausstattung [22]

2.3 Bisherige Umsetzungen von BIM-Anwendungen in Forschung und Praxis

2.3.1 Pilotprojekte des Bundes

Zur praxisorientierten Erprobung des Einsatzes von BIM wurden vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterschiedliche Initiativen wie beispielsweise die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 sowie Pilotprojekte im Bereich des Infrastrukturbaus gestartet. Nachfolgend werden die daraus resultierenden Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt.

Allgemeine Infrastrukturprojekte

In Deutschland wurden im Rahmen des Projekts BIM4INFRA2020 (gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) verschiedene Anwendungsfälle von BIM herausgearbeitet, bewertet und priorisiert (siehe Bild 2-6). Die priorisierten Anwendungsfälle werden ab Ende 2020 schrittweise in Maßnahmen des Bundes und der Länder umgesetzt.

Die Auswahl von Anwendungsfällen ist die Grundvoraussetzung für die Umsetzung von BIM im Projekt oder im Unternehmen bzw. einer Organisation. Für alle Anwendungsfälle von BIM ist nach EN ISO 19650-1/2 der konkrete Informationsbedarf (Level of Information Need – LOIN) zu definieren. Damit wird für alle Akteure eindeutig geregelt, wer welche Informationen zu liefern hat. Die Vorgaben sind auch für einen effizienten Datenaustausch notwendig.

Der Einsatz von BIM im Infrastrukturbau fokussiert aktuell, wie auch im Hochbau, auf die Phasen der Planung und teilweise der Bauausführung. In Deutschland werden in der Regel folgende Anwendungsfälle beauftragt:

- Bestandsmodellierung
- Variantenuntersuchung
- Koordination der Fachgewerke
- Ableitung von 2D-Plänen
- Bauablaufsimulation
- Mengenermittlung

Nr	Anwendungsfälle	Leistungsphasen gem. HOAI									Betrieb
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Bestandserfassung											
AWF 1	Bestandserfassung	■	■								
Planung											
AWF 2	Planungsvariantenuntersuchung		■	■	■	■					
AWF 3	Visualisierungen		■	■	■	■			■		
AWF 4	Bemessungen und Nachweisführung		■	■	■	■					
AWF 5	Koordination der Fachgewerke		■	■	■	■					
AWF 6	Fortschrittskontrolle der Planung		■	■	■	■					
AWF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen		■	■	■	■					
AWF 8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung		■	■		■			■		
AWF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung		■	■							
Genehmigung											
AWF 9	Planungsfreigabe		■	■	■	■					
Vergabe											
AWF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe						■	■	■		
Ausführungsplanung und Ausführung											
AWF 12	Terminplanung der Ausführung			■	■	■			■		
AWF 13	Logistikplanung					■			■		
AWF 14	Erstellung von Ausführungsplänen					■					
AWF 15	Baufortschrittskontrolle								■		
AWF 16	Änderungsmanagement								■		
AWF 17	Abrechnung von Bauleistungen								■		
AWF 18	Mängelmanagement								■	■	
AWF 19	Bauwerksdokumentation								■	■	
Betrieb											
AWF 20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung										■

Bild 2-6: Anwendungsfälle für den Infrastrukturbau [27]

- Kostenermittlung
- Erstellung von Leistungsverzeichnissen
- Mängelmanagement
- Baufortschrittskontrolle

Für den deutschen Infrastrukturbau wurde im Zuge der Einführung von BIM einzelne Beschreibungen zu den verschiedenen Anwendungsfällen erarbeitet. Diese Beschreibungen geben einen groben Überblick zu den Aufgaben, beteiligten Akteuren und zu verarbeitenden BIM-Fachmodellen. Zur einfachen Nutzung von Anwendungsfällen wurden sogenannte Steckbriefe entwickelt (siehe Bild 2-7).

Im Rahmen der Umsetzung der einzelnen Anwendungsfälle werden Fachmodelle erstellt, ergänzt oder genutzt. Die einzelnen Fachmodelle sind noch nicht eindeutig standardisiert. Ein erster Versuch

wurde für Deutschland im Rahmen von BIM4-INFRA2020 unternommen. Hierzu wurde eine entsprechende Handreichung herausgegeben. Speziell für den deutschen Straßenbau gibt es auch Vorgaben der DEGES, welche Fachmodelle in der Regel angefordert werden und wie diese wiederum in Teilmodelle zu gliedern sind (siehe Bild 2-8).

In den letzten Jahren wurden im Rahmen von verschiedenen BIM-Projekten umfangreiche Erfahrungen zur Nutzung von BIM im Infrastrukturbau gesammelt. Der Fokus lag insbesondere auf der Planungsphase. Wenige Projekte erprobten auch den Einsatz von BIM während der Bauausführung. Hier wurde häufig ein BIM-basiertes Mängelmanagement angewendet. In Deutschland gibt es seit Ende 2019 weitere Bestrebungen die Anwendung von BIM im Infrastrukturbau zu standardisieren. Hierzu gehört eine Detaillierung der Anwendungsfälle, eine genaue Beschreibung der Fach- und Teilmodelle

10 BIMANFRA2020 – TEIL 06 – Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle
BIMANFRA2020 – TEIL 06 – Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle 11

Abschnitt II: Steckbriefe

ANWENDUNGSFALL 1

Bestandserfassung

Leitungsphasen gem. HOAI								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
								Betrieb

Definition

Erfassung der wesentlichen Aspekte des Bestandes durch ein **geeignetes Aufmaß** und Überführung in ein Bestandsmodell. Die Eingangsdaten dafür können Daten aus bereits **vorhandenen Plänen, Geoinformationssystemen, geodätischen Erfassungen wie Tachymetrie, Laserscanning, Photogrammetrie** oder eine Kombination daraus umfassen. Dieser Anwendungsfall liefert digitale Planungsgrundlagen und ist somit eine wichtige Voraussetzung für die Durchführbarkeit und Qualität der nachfolgenden Anwendungsfälle.

Nutzen

Welcher Mehrwert ist durch die Umsetzung des Anwendungsfalles zu erwarten?

- **Reduzierung von Risiken** durch Referenzieren des Projektkontextes in der Planungsphase und Erkennen von Schnittstellen zwischen Bestand und Neubau
- **Unterstützung von Entscheidungsprozessen** des Auftraggebers im Projektverlauf
- **Wiederverwendung** und/oder Fortschreibung von Daten zur Nachverfolgung des Baufortschritts sowie für die Nutzung in Betrieb und Unterhaltung
- **Kostensenkung** für erforderliche Bestandserfassung zukünftiger (angrenzender) Bauprojekte oder bei Umbau und Instandsetzung

Umsetzung

Wie wird der Anwendungsfall umgesetzt?

1. Definition der erforderlichen Fachmodelle und erhaltenen Daten zur Bestandsaufnahme
2. Aufnahme der geometrisch notwendigen Informationen in der erforderlichen Genauigkeit
3. Zusammenführung der Fachmodelle in einem einheitlichen geodätischen Bezugssystem
4. Überführung in ein strukturiertes BIM-Modell mit zusätzlichen Informationen als hochwertige

Daten, Modelle & Formate

Welche gängigen Daten, Modelle und Formate können für diesen Anwendungsfall relevant sein?

- Punktwolken (LAS, E57)
- GIS-Daten (LANDXML, CITYGML, NAS)
- Bestandspläne (PDF, DXF)
- Fotos (TIFF, BMP, GEOTIFF)
- Trassierungsmodell (IFC, OKSTRA)
- Digitales Geländemodell (ASCII, IFC, LANDXML, OKSTRA)
- Baugrundmodell (GROUNDXML, AGS)
- GIS-Modell (GML)

Projekt-/Praxisbeispiele



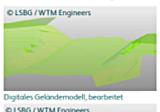
© Leica Geosystems

3D Punktwolkenansicht einer Landschaft in einer Software zur Betrachtung von Punktwolken



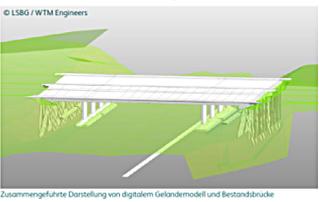
© maxfly/Max Bög

Photogrammetrische 3D-Aufnahme eines bestehenden Knotenpunktes



© LSBG / WTM Engineers

Digitales Geländemodell, bearbeitet



© LSBG / WTM Engineers

Zusammengeführte Darstellung von digitalem Geländemodell und Bestandsbrücke



© LSBG / WTM Engineers

Bestandsmodell einer Straßenbrücke

Bild 2-7: Steckbrief des Anwendungsfalles Bestandserfassung [28]

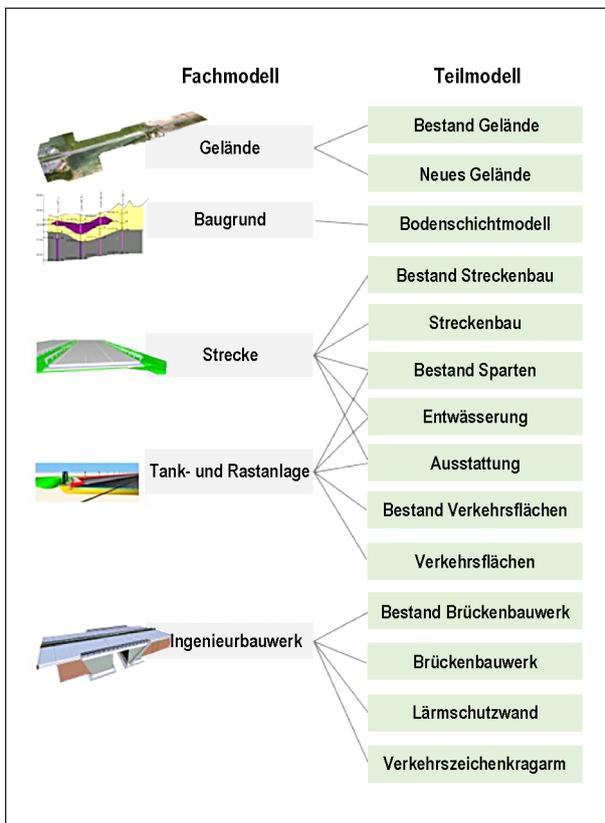


Bild 2-8: Fach- und Teilmodelle im Rahmen der Havellandautobahn (Quelle: IB&T Software GmbH)

und letztendlich sehr konkrete Informationsanforderung, die im Rahmen der AIA ausgeschrieben werden. Auch in den nächsten Jahren ist geplant, dass die Einführung im Wesentlichen die Phasen Planen, Bauen und im geringen Umfang auch die Übergabe in den Betrieb unterstützt.

Tunnel Rastatt

Das Großprojekt Karlsruhe-Basel ist Bestandteil des europäischen Güterkorridors Rhein-Alpen. Das Projekt unterteilt sich auf einer Länge von ca. 182 km in 9 Streckenabschnitte mit unterschiedlichen Realisierungsständen. Das Teilprojekt Tunnel Rastatt schließen sich südlich an Karlsruhe in Richtung Basel an. Ziel des Projekts ist es, durch Erhöhung der Streckenkapazität den prognostizierten Schienenmehrverkehr auf der Rheintalbahn dauerhaft aufzunehmen. Durch zusätzliche Gleise können die schnellen Züge des Fernverkehrs von den langsameren Zügen des Nah- und Güterverkehrs getrennt werden. Die so entstehende Entmischung der Verkehre verhindert eine gegenseitige Beeinträchtigung im Betrieb.

Infolge der Havarie der den Tunnel Rastatt auffahrenden TBM vom 12. August 2017 konzentrierte sich die Umsetzung der BIM-Anwendungsfälle bei diesem Teilprojekt auf die bereits fertig gestellten Bereiche des Tunnels, insbesondere die Portale. Zudem wurde in diesem Abschnitt die Bereitstellung einer digitalen Bauwerksakte im Rahmen des Anwendungsfalls „Baudokumentation“ durchgeführt. Für den Abschnitt Tunnel Rastatt ergaben sich folgende Untersuchungsschwerpunkte:

- Ansätze zur verbesserten Leistungsmeldung durch Verknüpfung von Informationen der Baustelle an das Projektsteuerungssystem,
- Möglichkeiten zur Simulation von Planungsvarianten und Bauzuständen inkl. einer Darstellung von Termin- und Kostenauswirkungen
- Vergleichbarkeit der klassischen Rechnungsstellung Bau mit einer modellbasierten Rechnungsstellung im Projektsteuerungssystem,
- Identifikation von Potenzial, um Fehlleistungskosten zu minimieren und Projektprozesse zu optimieren,
- Überführbarkeit vorhandener Planungsdaten und Dokumentation der Ausführung in ein Bestandsmodell zum Betrieb der Anlagen

Es wurde ein Planungsmodell des Tunnel Rastatt in hoher Detaillierung umgesetzt. Das Modell des Tunnels wurde zum Zwecke einer Visualisierung in 3D (ähnlich einer VR-Anwendung) mit einer speziellen 3D-Visualisierungssoftware angepasst. Die Ergebnisse wurden neben der Darstellung der Visualisierung in einem frei navigierbaren Player auch für die Erstellung einer App für Smartphones verwendet. Die Visualisierungen dienen primär der Öffentlichkeitsarbeit.

Der Anwendungsfall Baufortschrittskontrolle konnte für den Tunnel Rastatt nicht in vollem Umfang umgesetzt werden. Das Projekt hat mit diesem Anwendungsfall insbesondere die Unterstützung von BIM bei der Projektsteuerung untersucht. Projektsteuerungsdashboards zur Analyse von Kosten und Leistungen wurden hierzu mit Unterstützung eines Dienstleisters entwickelt. Das konventionelle Controlling wurde für bestimmte Leistungen durch modellbasierte Ansätze mit 5D-Modellen unterstützt. Das Controlling erfolgte teilweise unter Verwendung von Fachmodellen und entsprechend verknüpfter Informationen zu LV-Positionen, Mengen, Vor-

gängen, Kosten, Baufortschritt und Abrechnung. Insbesondere für die Abrechnung von Bauleistungen wurde eine Systematik entwickelt und als Konzeptstudie getestet.

Auf Basis der Ausführungsdaten zum Tunnel Rastatt wurde eine Möglichkeit zur modellgestützten Abrechnung untersucht. Auf Grund der Komplexität und der noch notwendigen Softwareentwicklungen konnten jedoch nur einige Teilbereiche zur Bearbeitung des Abrechnungsvorgangs präsentiert werden. Darüber hinaus wurde berichtet, dass der Auftragnehmer für seine konventionelle Abrechnung auch die bereitgestellten Modellinformationen nutzte.

Für den Tunnel Rastatt wurde auch eine digitale Bauakte erstellt. Hierzu wurde ein Auftragnehmer gebunden, der auf dem Gebiet des Tunnelbaus spezialisiert ist und entsprechend Erfahrung hinsichtlich der Umsetzung der hierbei geforderten Dienstleistung mitbrachte. Zielsetzung war, auf Basis der vorhandenen Modelle, Dokumente und Informationen ein qualitätsgesichertes Betreibermodell für den Tunnel Rastatt zu generieren. Zum Abgleich der gebauten Tunnelelemente mit dem 3D Modell wurde hierfür zunächst eine Laser-Vermessung sowohl stationär als auch mobil durchgeführt und dadurch grundsätzlich die Ist-Situation in Lage und Bild festgehalten. Abweichungen wurden anschließend mit einer Auswertungssoftware des Auftragnehmers ermittelt und per Heatmap visualisiert. Das Tunnelmodell selbst musste für diesen Anwendungsfall nur einen einfachen Detaillierungsgrad aufweisen, der es erlaubt, das Modell zur Verortung von Dokumenten und Informationen zu verwenden. Der letztlich benötigte geometrische Detaillierungsgrad war insofern geringer als der vorhandene Detaillierungsgrad des Planungsmodells. Das Modell wurde im Anschluss mit relevanter Attribuierung zur Verknüpfung von Modell und Daten (z. B. Ringnummern und Blocknummern je Tübbing) angereichert. Parallel dazu wurden seitens des Projektes die vorhandenen zu verknüpfenden Dokumente mit Schlagworten versehen, um eine anschließende Verknüpfung regelbasiert zu ermöglichen bzw. zu automatisieren. Der Workflow hierzu wurde mehrstufig durchgeführt und beinhaltete unter anderem die Auswertung von PDF-Inhalten (Bereichsweise Auswertung über OCR), von Dateinamen und enthaltener Kilometrierung in Plänen. Mit diesem Verfahren konnte bei vergleichsweise geringem Aufwand eine sehr hohe Wertschöpfung er-

reicht werden. Konkret wurden hiermit fast 40.000 Dokumente im Modell nahezu automatisiert verarbeitet.

Die auf dem Projekt eingesetzte gemeinsame Datenumgebung (CDE) konnte so eingesetzt werden, dass die zuvor mit Schlagworten versehenen Dokumente über dynamische Filterung den entsprechenden Bauteilen im Modell zugeordnet werden konnten. Somit wurden die Dokumente hier nicht statisch verknüpft, sondern dynamisch zugeordnet. Eine Weitergabe dieser Zuordnung in weitere Software bzw. Datenbanken wäre über entsprechende Exporte aus der eingesetzten Software möglich.

Tunnelkette A44

Die A44 ist Teil des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr.15: „Autobahn A44 Kassel – Eisenach und A4 Eisenach – Görlitz“ und soll eine Lücke im Netz der Bundesautobahnen auf der Achse Ruhrgebiet – Kassel – Dresden zwischen der A7 bei Kassel und der A4 bei Wommen schließen. Der Streckenverlauf der A44 orientiert sich an den im Tal geführten Bundesstraßen B7, B27 und B400 und befindet sich weitgehend in Hanglage. In den von der Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) betreuten Abschnitten befinden sich 7 Tunnel, 8 Talbrücken und noch ca. 100 weitere Ingenieurbauwerke.

Im Zuge der Pilotierung wurden die Abschnitte Tunnel Spitzenberg und Tunnel Holstein durch den Einsatz der BIM-Methodik unterstützt. Das Pilotprojekt Tunnel Spitzenberg BW21/18T umfasst einen ca. 599 m langen Tunnel von Baukilometer 45+771 bis Baukilometer 46+380 mit zwei getrennten Röhren. Der Tunnel Spitzenberg wird in bergmännischer Bauweise (NÖT) erstellt (zweischaliges Bauwerk mit Innen- und Außenschale). Der Tunnel Holstein führt von Baukilometer 51+044 bis Baukilometer 52+712 ca. 1642 m durch teilweise tektonisch stark gestörtes Lockergestein mit örtlich, geringen Überdeckungshöhen der Tunnelröhren. Die zwei getrennten Röhren werden zweischalig und außerhalb der Protalbereiche in Spitzbetonbauweise (NÖT) aufgeföhren.

Der Fokus des Abschnitts Tunnel Spitzenberg liegt in einem Vergleich der Soll- und Ist-Ausbruchgeometrie im konventionellen Tunnelbau. Hierfür sollen Ortsbrustaufnahmen und Laserscans zur Abbildung der Ist-Ausbruchgeometrie verwendet werden. Zu-

sätzlich wird auf Basis der Ist-Abbildungen der Ortsbrust, das im Vorfeld erstellte geologische Modell abgeglichen und verbesserte Prognosen der geologischen Verhältnisse erzeugt. Die BIM-Ziele des Projektes Tunnel Holstein beinhalten die Schaffung einer Grundlage zur modellbasierten Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe.

Beide Projektabschnitte werden durch die DEGES betreut und ausgeschrieben. Die erstellten Auftraggeber-Informationsanforderungen weisen somit strukturelle Ähnlichkeiten auf, beschreiben jedoch auch die unterschiedlichen, projektspezifischen Ziele und Anwendungsfälle detailliert. In beiden Abschnitten sind als übergeordnete BIM-Ziele die Verbesserung der Planungsqualität und im speziellen des Risikomanagements definiert. Insbesondere der Informationsaustausch aller Projektbeteiligten über eine gemeinsame Daten-Plattform ist adressiert. Für den Tunnel Spitzenberg sind zusätzliche projektspezifische Ziele aufgeführt:

- Erreichung höherer Transparenz der geologischen Verhältnisse während der Ausführung durch Erstellung und Verfeinerung eines Untergrundmodells auf Grundlage der Baugrundaufschlüsse und der Ortsbrustdokumentationen.
- Verbesserte Kenntnisse des entstandenen Bauwerks in der Betriebsphase durch Überführung der während des Tunnelvortriebs erzeugten Laserscans in Viewer-Plattformen und in As-built-Modelle.

Zur Umsetzung eines modellbasierten Vergabe- und Ausschreibungsprozesses sind als projektspezifische Ziele aufgeführt:

- Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) anhand des Modells.
- Modellgestützte Erzeugung von mengenbezogenen Positionen des Leistungsverzeichnisses, modellbasierte Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe.

Es sind Vorgaben zur Koordination verschiedener Fachmodelle und Projektabschnitte, Modellierungsrichtlinien (Koordinatensystem, Modellgrenzen, Modellstruktur und Modellzonierung), LoD Spezifikationen und Anforderungen an die Datenübergabepattform (CDE) formuliert. Die Beschreibung der LoD erfolgt funktional und phasenbezogen. Hierbei ist auf die gängigen Regelwerke (z. B. RAB-ING)

verwiesen. Für die genannten Tunnel wurden sehr spezielle BIM-Anwendungsfälle definiert, welche in Tabelle 2-1 für den Tunnel Spitzenberg und Tabelle 2-2 für den Tunnel Holstein beschrieben werden.

Zur insitu Aufnahme der Ausbruchsgeometrie sind abschlagsweise Laserscans der Ortsbrust zu erstellen. Diese dienen der Vortriebsdokumentation und Qualitätskontrolle (Profilkontrolle). Um das zeitabhängige Verhalten der Tunnelschale zu dokumentieren sind auch in den folgenden Bauphasen Laserscans zu erstellen, aufzubereiten und mit den Soll-Geometrien abzugleichen. Somit ergeben sich

spezielle Anforderungen an die zur Aufnahme verwendeten Technologien, aber auch an die Verarbeitung und Weitergabe. Ausgewertet werden sollen:

- der tatsächliche Ausbruch mit Vergleich zum Soll anhand von Querschnitten
- die tatsächliche Kontur der Außenschale mit Vergleich zum Soll anhand von Querschnitten
- die Spritzbetondicke
- die Kontur der Außenschale vor dem Aufbringen der Abdichtung

Anwendungsfall Bezeichnung	Beschreibung
Planungsübertragung	Übertragung der vorliegenden 2D-Planung in BIM-Modelle (Innen- und Außenschalen-geometrien).
Geologisches Modell	Erzeugung eines geologischen Modells aus den vorliegenden geologischen Erkundungsergebnissen in Zusammenarbeit mit dem geotechnischen Berater des AG.
Ortsbrustaufnahmen und Laserscans	Erzeugung von Modellen zur stationsgenauen Eingabe der geologischen Schichtgrenzen aus den Ortsbrustaufnahmen und der Laserscans.
Ableitung des geologischen Modells	Überlagerung der Modelle aus dem geometrischen Modell und den Ortsbrustaufnahmen und den Laserscans zur Erzeugung einer verbesserten Prognose der geologischen Verhältnisse.
Darstellung der Laserscans	Überführung der Punktwolken der einzelnen Laserscanepochen in eine webbasierte Viewerplattform zur Bestandsdokumentation sowie einfachen Betrachtungs- und Nutzungsmöglichkeit der Massendatensätze.

Tab. 2-1: Definition der Anwendungsfälle für den Tunnel Spitzenberg auf der A44

Anwendungsfall Bezeichnung	Beschreibung
Planungsübertragung	Übertragung der vorliegenden 2D-Tunnelplanung in BIM-Modelle.
Schaffung einer Grundlage zur Erstellung von Ausführungsplänen	Ableitung der wesentlichen Teile der Ausführungspläne aus dem Modell.
Mengenermittlung	Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen (Volumen, Flächen, Längen, Stückzahlen) anhand des Modells.
Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	Modellgestützte Erzeugung von mengenbezogenen Positionen des Leistungsverzeichnisses, modellbasierte Ausschreibung, Vergabe und Angebotsabgabe.
Terminplanung der Ausführung	Erstellung von Terminplänen. Vorgängen werden Elemente des Modells zugeordnet (4D-Modell). Damit ergeben sich auch Zuordnungen zu Mengen und damit Kosten (5D-Modell).
Zeitgebundene Kosten	Erstellung eines BIM-Modells zur Berechnung der Zeitgebundenen Kosten des Tunnelbaus unter Berücksichtigung veränderlicher Längen in den einzelnen Vortriebsklassen sowie Übertragung auf den Terminplan. Die Zeitgebundenen Kosten werden über ein Lohnstundenmodell gem. BASt-Leitfaden ermittelt.
Schaffung einer Grundlage zur Abrechnung von Bauleistungen	Nutzung des Modells – insbesondere der bauteilbezogenen Mengen – als Grundlage der Abrechnung von Bauleistungen.
BIM-Gesamtkoordination	Durchführung der BIM-Gesamtkoordination und Zusammenführung der Fachmodelle Brücke Forstweg, Strecke (werden durch gesonderten Vertrag erbracht) und Tunnel Holstein.
Aufstellung AIA für die Leistungsstufe II	Aufstellung der AIA zur Übernahme in den Bauvertrag für die BIM-Modellierung im Zuge der Bauausführung (LS II).

Tab. 2-2: Definition der Anwendungsfälle für den Tunnel Holstein auf der A44

- die Innenschalendicke
- die Einhaltung des vorgesehenen Lichtraumprofils

Die konventionelle Planung der Tunnel sind abgeschlossen. Das Projekt Spitzenberg befindet sich in der Bauphase. Hierbei werden die Daten zur Ortsbrustdokumentation (Scan, Messung, Ortsbrustfotos) bereits erhoben und archiviert. Aktuell liegen keine Informationen vor, ob die geplanten BIM-Anwendungsfälle beauftragt wurden.

2.3.2 Praxiserfahrungen im Hoch- und Infrastrukturbau

Grundsätzlich ist der Betrieb und die Erhaltung von Bauwerken im Rahmen der Betriebsphase kein Alleinstellungsmerkmal von Straßentunnel. Daher ist es sinnvoll, im Bereich des Hochbaus und weiteren Bereichen des Infrastrukturbaus nach vergleichbaren und gegebenenfalls übertragbaren Konzepten eines BIM-gestützten Unterhaltsmanagements Ausschau zu halten. Im Folgenden werden diesbezüglich Erfahrungen des Projektpartners BUNG aus verschiedenen Projekten analysiert.

Erfahrungen aus der Planung von Hochbauwerken

Im Zuge der Bearbeitung von Projekten im Hochbau nutzt die BUNG Ingenieure AG die Möglichkeiten von BIM in verschiedenen Ausprägungen. Dies bezieht sich aktuell noch in weiten Teilen auf die 3D-Planung, sowie die Verknüpfung mit iTWO, d. h. den Kosten. In der Planung erfolgt die Anwendung von BIM unter anderem im Bereich von Modellierungen von Bestandsgebäuden. Als Beispiel kann hier der Hauptbahnhof München genannt werden. In Vorbereitung zum Bau der 2. S-Bahn-Stammstrecke wurde das Gebäude des Hauptbahnhofs mittels 2D-Vermessung aufgenommen. In Kombination mit den Bestandsplänen wurde dann das Gebäude dreidimensional abgebildet, um hierdurch Bauabläufe, Zuwegungen und weitere Untersuchungen für die Baumaßnahme unter dem Bahnhof zu erarbeiten. Die 3D-Abbildung erfolgte in verschiedenen Detaillierungsgraden von LOD 200 für die Nebengebäude bis hin zu LOD 500 im Bereich der Eingangshalle und dem Hauptgebäude.

Des Weiteren wird die Modellierung von Bauwerken genutzt, um Abstimmungen zwischen verschiedenen Fachgewerken durchführen zu können sowie

zur Darstellung gegenüber der Öffentlichkeit. Im Zuge des Neubaus der Notstromzentrale der Heidelberger Kopfklinik wurde ein dreidimensionales Modell im Rahmen des Entwurfs erstellt, um die erforderliche Raumausnutzung, sowie die möglichen Trassenführungen zu eruieren. Hierbei wurden verschiedene Varianten untersucht, um letztendlich das vorhandene Baufeld bestmöglich auszunutzen. Durch das Modell konnte dem Bauherrn sowie dem Nutzer des Bauwerks die Aufteilung des Gebäudes mittels einer Walk-Through-Animation nähergebracht werden.

Die Nutzung der dreidimensionalen Abbildung in den frühen Leistungsphasen wird dann weitergeführt bis hin zur Ausführungsplanung. Aktuell erfolgt hier unter anderem eine Kooperation mit der Firma GOLDBECK. Aktuellstes Projekt mit dem Partner ist momentan die Parkgarage für das neue Terminal 3 am Frankfurter Flughafen. Das größte Parkhaus von GOLDBECK umfasst ca. 9.500 Stellplätze auf einem Areal von ca. 400 auf 140 Metern Ausdehnung. Hinzukommen verschiedene Zufahrtsrampen und Tunnel, Technikzentralen, sowie die Gründung des kompletten Gebäudes.

Als weiteres Projekt sei der Neubau des Polizeipräsidiums Südost-Hessen in Offenbach genannt. Hier entsteht aktuell auf einer Fläche von 200 x 100 Meter ein imposantes Bauwerk mit zweigeschossiger Tiefgarage, sowie einer Sporthalle für den Betriebsport.

Die übergebene 3D-Werkplanung der Architekten wird mittels REVIT in eine Ausführungsplanung überführt. Hierbei werden Betonfertigteileübersichtspläne, sowie die Elementpläne aus dem 3D-Modell erzeugt und als fertiger Plan dem ausführenden Unternehmen übergeben.

Der Vorteil dieser Arbeitsweise liegt in der hohen Qualität der Planung, da Kollisionen direkt am Modell festgestellt werden können. Zum anderen erfolgt die Planerzeugung in REVIT, sodass eine direkte Kommunikation zwischen Modell und Plan erfolgt. Das Ergebnis sind fertige Elementpläne inkl. Bewehrung mit den zugehörigen Stahllisten.

Des Weiteren werden aus dem Modell direkt die erforderlichen Stücklisten der Fertigteile und der Einbauteile programmgesteuert herausgelesen. Auch hier werden Anpassungen direkt ersichtlich. Die Modelle können im nächsten Schritt auch Fertigungsbetrieben oder auch Betreibern für den späteren Betrieb der Gebäude übergeben werden.

Auch in der Ortbetonplanung wendet die BUNG Ingenieure AG mittlerweile die Vorteile der 3D-Planung in Kombination mit iTWO an. Aus den REVIT-Modellen, die zur Planerzeugung erstellt werden, können Massen in das AVA-System ausgelesen werden. Hierdurch erreicht man eine hohe Sicherheit und Qualität in den Ausschreibungen, da z. B. Massenfehler nahezu nicht mehr auftreten können.

Die Verknüpfung mit der vierten Dimension, den Terminen, ist aktuell in Bearbeitung. Hierbei sollen Arbeitsabläufe mittels verschiedener Programme aus dem Modell definiert werden. Hieraus können sich dann Bauablaufpläne und Zwangspunkte in der Ausführung ergeben. Diese Ergebnisse können dann wiederum für Planungsterminpläne herangezogen werden.

Bisherige Umsetzungen im Bereich des Facilitymanagements

Die fortschreitende Technisierung und die Forderung nach einer Effizienzsteigerung der Gebäudeunterhaltung haben in den letzten Jahrzehnten zur Erhöhung des Stellenwerts für das technische Gebäudemanagement geführt. Eine wesentliche Anforderung die an ein modernes Gebäudemanagement gemäß HIRSCHNER et. al. [29] gestellt wird, ist der Einsatz von Computer Aided Facility Management (CAFM) zur Erfassung sämtlicher Informationen über die in einem Gebäude installierten Anlagen und Einrichtungen. Das System ist dabei modular aufgebaut und setzt sich aus mehreren Softwareanwendungen zusammen, die einzelnen Aufgabenbereiche (bspw. Dokumentenmanagement, Planung und Koordination von Instandhal-

tungsmaßnahmen) entsprechend unterstützen bzw. optimieren sollen.

Die German Facility Management Association GEFMA beschreibt diesbezüglich in einem White Paper [8] die Möglichkeiten zur Verknüpfung von CAFM-Systemen mit einem (BIM-)Betriebsmodell als zentrale Datenbank durch entsprechende Schnittstellen (siehe Kapitel 2.1.2). Alphanumerische Informationen bzw. Daten aus entsprechenden Betriebsabläufen können bspw. über ein User Interface im CAFM-System hinterlegt werden, woraufhin eine (automatisierte) Synchronisierung mit dem BIM-Modell erfolgen soll. Grafische Daten können wiederum in entsprechenden Tools dargestellt und bearbeitet werden. Dokumente können als Anlage zu den alphanumerischen oder graphischen Informationen hinzugefügt werden.

In der GEFMA-Richtlinie 400 [30] werden u. a. die Grundlagen für den Aufbau von CAFM-Systemen definiert. Demnach sind folgende Daten für das Facilitymanagement hinsichtlich einer strukturierten und konsistenten Datengrundlage zu unterscheiden: Bestandsdaten, Prozessdaten und sonstige Daten.

Informationen zur Beschreibung eines Gebäudes mit sämtlichen Einrichtungen und technischen Anlagen sind den Bestandsdaten zuzuordnen. Diese sind insbesondere für Aufgaben im Bereich der Instandhaltung relevant. Prozessdaten umfassen Auftrags-, Zustands- und Verbrauchsdaten. Bei Eingang von Aufträgen bspw. im Rahmen der Instandhaltung werden Auftragsdaten im System aufgenommen und historisiert und unterstützen unter anderem die Koordination von Maßnahmen sowie die Abrechnung von Tätigkeiten und Leistungen. Daten

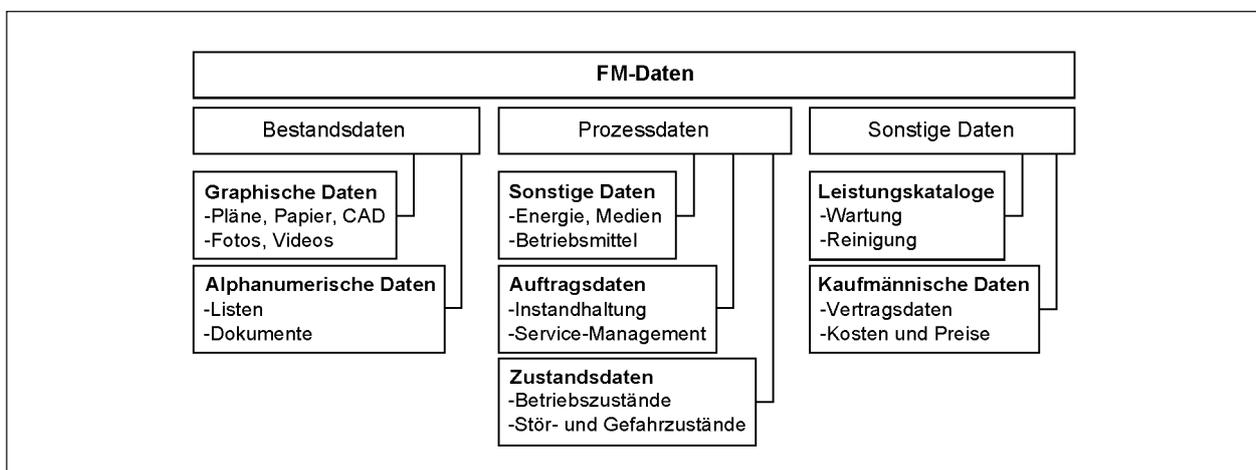


Bild 2-9: Klassifizierung von FM-Daten gemäß GEFMA-Richtlinie 400 [30]

zu technischen Anlagen (z. B. Störmeldungen, Temperaturen, Energieströmungen) die im Betrieb anfallen sowie der aktuelle Bearbeitungsstand sind entsprechende Zustandsdaten. Zu den Verbrauchsdaten zählen unter anderem Informationen zu aktuellen Zählerständen (u. a. Strom, Wasser). Sonstige Daten beschreiben sowohl Leistungskataloge, in denen zu erbringende Leistungen festgelegt werden als auch kaufmännische Daten (bspw. Vertragsdaten, Fristen, Termine, Preise). [30]

Die Ergebnisse einer Status-Quo Analyse, welche im Rahmen des White Papers GEFMA 926 [8] durchgeführt wurde, zeigen, dass trotz der weit vorgeschrittenen Entwicklung (u. a. von Schnittstellen als technologische Grundvoraussetzung), derzeit die Nachfrage auf Seiten der Auftraggeber eher gering ist. Als hauptsächlicher Grund dafür werden die erhöhten Investitionskosten für die Implementierung der BIM-Methodik insbesondere bei Bestandsbauwerken gesehen, die aus dem Aufwand für die Datenerfassung resultieren.

Infrastrukturbauwerke

Am Beispiel der BAB 7 Hamburg, Planungsabschnitt Altona erarbeitete die BUNG Ingenieure AG ein Bestandsmodell. Dieses Bestandsmodell bildete die Grundlage zur Erstellung eines Gesamtmodells, in dem dann die jeweils in unterschiedlicher Software erstellten Planungs- Fachmodelle vom Tunnelbauwerk, Brückenbauwerken und Bauwerken der Streckenplanung wie Schilderbrücken zusammengefügt wurden.

Der Fokus bei der Erstellung des Bestandsmodells liegt in erster Linie auf dem Digitalen Geländemodell (DGM) und dessen Art der Darstellung in der Analyse- und Koordinationssoftware (Gesamtmodellsoftware). Alternativ zum DGM können auch (ggf. farbige) Laserscandaten die Grundlage bilden. Durch die meist recht große Anzahl von Punkten (sog. Punktwolken), verbunden mit enormen Datenmengen, ist besonderes Augenmerk auf die gute Handhabung und Performance in der Gesamtmodellsoftware zu legen. Das Interpretieren von Punktwolken um z. B. Objekte zu filtern oder herauszulösen hat einen hohen Stellenwert bei der Arbeit mit dieser Art von Daten. Als praktikabel hat sich dabei eine „Nachmodellierung“ der gewünschten Objekte aus den Punktwolken herausgestellt, da speziell bei Modellbesprechungen die Leistungsanforderungen an die Hardware für ein schnelles Auflösen der Darstellung im Modell sehr hoch sind.

Als vorteilhafte Methode bei der Erstellung von Bestandsmodellen hat sich auch das Ausschneiden z. B. der Bestandsfahrbahnen aus dem Gesamt-DGM herausgestellt. Damit ist eine optische Hervorhebung und abschnittsweise Aufteilung für die Verwaltung der Bestandsfahrbahnen möglich. Die intuitive Erfassung ist deutlich besser, als bei Betrachtung von nur einem Gesamt-DGM mit integrierter Fahrbahn.

Bereits vor Erstellung von 3D-Volumenkörpern in der Autorensoftware sind die Randbedingungen und die notwendige Detaillierung zwingend zu klären. Hier stehen oftmals schon standardisierte Vorgaben des AG in Form von LOI-Konzept, LOG-Konzept zur Verfügung. Darin sind die Informationen, Darstellungsformen und Bearbeitungstiefe definiert.

In der praktischen Erstellung der Verkehrsanlagen als 3D-Volumenkörper ist es erforderlich, im Vorfeld bereits die entsprechenden Querschnittsbestandteile (z. B. Asphalt-schichten, Bankette, usw.) lückenlos mit eindeutiger Umgrenzung zu erstellen. Dabei sind intern strukturelle Vorgaben bzgl. der zu verwendenden Linien bei der Querprofilerstellung zu tätigen. Damit können die Vorlagen projektübergreifend verwendet werden. Die Zuordnung ist damit für die einzelnen Bearbeiter eindeutig.

Wichtig bei der Modellerstellung in der Autorensoftware ist eine flexible, schnelle Änderung und nochmalige Ausgabe z. B. bei Anpassungen an Achsen und Gradienten. Dies ist speziell bei Variantenuntersuchungen entsprechend Leistungsphase 2 der HOAI notwendig.

Es hat sich herausgestellt, dass im Modell möglichst Achsdaten (als zwei- oder dreidimensionale Achse) zur Herstellung von Bezugspunkten für die Verkehrsanlagen in Infrastrukturmodellen hinterlegt werden. Damit kann insbesondere bei sich in mehreren Ebenen kreuzenden Fahrbahnen eine verbesserte Orientierung z. B. an Streckenkilometern sichergestellt werden, so z. B. bei Autobahnen, bei denen die Gradienten jeweils mit Abstand zur Hauptachse innerhalb der Richtungsfahrbahnen liegen und ggf. noch keinen parallelen Abstand zur Hauptachse aufweisen.

In einem nächsten Schritt erfolgt dann die Informationszuweisung für die Fachmodellobjekte. Hier müssen Vorlagen geschaffen werden, um auf einen bestimmten Pool an Attributen zugreifen zu können. Dies kann z. B. nach Auftraggeber oder nach Projektart unterschiedlich sein. Damit kann bei gleich-

artigen Projekten auf vorhandene Vorlagen zugegriffen werden. Vor der Modellierung ist zu klären, welche Attribute in der Autorensoftware zugewiesen werden müssen und wie diese in der Analyse- und Koordinationssoftware gelesen und ausgewertet werden können.

Neben der reinen Erstellung von mit Informationen versehenen 2D- und 3D-Objekten wurden im Projekt A 7 schon umfangreiche, parametergesteuerte 4D-Bauablaufsimulationen erstellt. Damit wurden sehr komplexe und eng miteinander verzahnte bzw. voneinander abhängige Vorgänge überprüft. Es wurden geometrische Kollisionsprüfungen unter Beachtung zeitlicher Abhängigkeiten vorgenommen, was zu einer Risikominimierung im Gesamtbauablauf führte. Beispiele sind hier die Kontrolle von übereinander in mehreren Ebenen liegenden Rohrleitungen. Auch wurde überprüft, ob die Durchfahrthöhe unter Brücken bei veränderter Fahrbahnhöhe als Verkehrsraum ausreicht.

Der Vorteil in der Anwendung der BIM-Methode liegt insbesondere bei Änderungen und Fortschreibungen der Planung in der umfassenderen Kontrollierbarkeit der Auswirkungen auf andere Objekte und Gewerke. Es hat sich gezeigt, dass sich mit der BIM-Methode die Planung gegenüber der Öffentlichkeit, politischen Gremien und Stakeholdern wesentlich einfacher vermitteln lässt. Auch die Kontrolle planerischer Schnittstellen wird darüber vorgenommen.

Weiterhin werden bereits die Möglichkeiten der modellbasierten Mengenermittlung genutzt. Auch die Plausibilisierung einer mit den herkömmlichen Methoden (Messen, Erfassung von 2D-CAD-Flächen) erstellten Mengenermittlung wird angewendet. In Vorbereitung ist auch die 5D-Verknüpfung zur Kostenplanung.

Als Autorensoftware für die Verkehrsanlagenplanung einschließlich der Kanalplanung wird in erster Linie CARD/1 von IB&T verwendet. Weiterhin ist VESTRA von AKG Software, Autocad Civil 3D von Autodesk und ProVI von ProVI GmbH im Einsatz. Als Schnittstellen werden in erster Linie LandXML, CPIXML, DWG-format sowie bei Bedarf zwischen den Produkten der Autorensoftware auch die bekannten REB-Datenarten (DA40, DA21, DA66, REB) genutzt. Die Übergabe erfolgte in die Modellierungssoftware Desite MD Pro von ceapoint technologies GmbH und Navisworks von Autodesk.

2.3.3 Anknüpfungspunkte aus komplementären Forschungsprojekten

Ergänzend zu den bisherigen aus Pilotprojekten des Bundes und den Erfahrungen aus der Praxis werden nachfolgend komplementäre Forschungsprojekte auf nationaler als auch internationaler Ebene untersucht. Neben BIM-orientierten Konzepten für das Betriebs- und Erhaltungsmanagement werden dabei auch allgemeinere Ansätze zur Strukturierung und Standardisierung analysiert, welche signifikant für eine allgemeine BIM-Implementierung sind.

Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken (FE 89.0309, BAST)

Im BAST-Forschungsprojekt FE 89.0309 „Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken“ [31] des Leonhard Obermeyer Centers und des Lehrstuhls für computergestützte Modellierung und Simulation der Technischen Universität München (Veröffentlichung: 2017) wurden die Möglichkeiten zur Implementierung eines BIM-basierten Erhaltungsmanagements für Brückenbauwerke untersucht.

Im Rahmen des Projekts wurden im Wesentlichen die Anforderungen an die Modellierung, die Struktur sowie die Erfassung von erhaltungsrelevanten Attributen erfasst. Dazu wurden insbesondere die maßgeblichen Regelwerke und Richtlinien für die Erhaltung von Brückenbauwerken analysiert (u. a. DIN 1076, RI-EBW-PRÜF und ASB-ING). Dabei wurden unter anderem Informationsanforderungen hinsichtlich der Erfassung von organisatorischen Daten (bspw. Identifikationsnummern von Bauwerken), weiterer Bauwerks- und Bauteilinformationen sowie bezüglich Schadens- und Mängeldaten erfasst. Darauf aufbauen wurden sog. BAST-Attributkataloge abgeleitet, welche die ermittelten Anforderungen systematisch zusammenfassen.

Bild 2-10 zeigt einen Auszug aus dem BAST-Attributkatalog für Bauteile auf Basis von Excel. Dabei lehnt sich die Strukturierung der Semantik an die Datenbank ASB-ING an. Attribute können entsprechende Einträge (v – verbindlich, w – wünschenswert, o – optional) hinterlegt werden, wodurch eine gezielte Auswahl für jedes Bauteil und somit eine Attributliste erzeugt werden kann. Zusätzlich können dadurch ohne Mehraufwand die IfcPropertySets und Model View Definition in Form einer XML-Datei abgeleitet werden.

BAST-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile						
v - verbindlich w - wünschenswert o - optional						
Attributgruppe	Identifikation					
Attribute	GUID	Name	Disziplin	Art nach ASB-ING	Beschreibung	
Typ	Integer	Text	Enum	Text	Text	
Beschreibung						
Überbauten	v	w	w		w	
Unterbauten	v	w	w		w	
Vorspannung	v	w	w		w	
Gründung	v	w	w	v	w	
Erd- und Felsanker	v	w	w	v	w	
Lager	v	w	w	v	w	
Fahrbahnübergänge	v	w	w	v	w	
Abdichtungen	v	w	w		w	
Kappen	v	w	w		w	
Schutzeinrichtungen	v	w	w	v	w	
Ausstattungen	v	w	w	v	w	
Gestaltungen	v	w	w	v	w	
Leitungen	v	w	w	v	w	
Verfüllen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen	v	w	w		w	
Betonersatzsysteme	v	w	w		w	
Oberflächenschutzsysteme	v	w	w	v	w	

Bild 2-10: LoD Betrieb des BAST-Attributkatalogs für Bauteile [31]

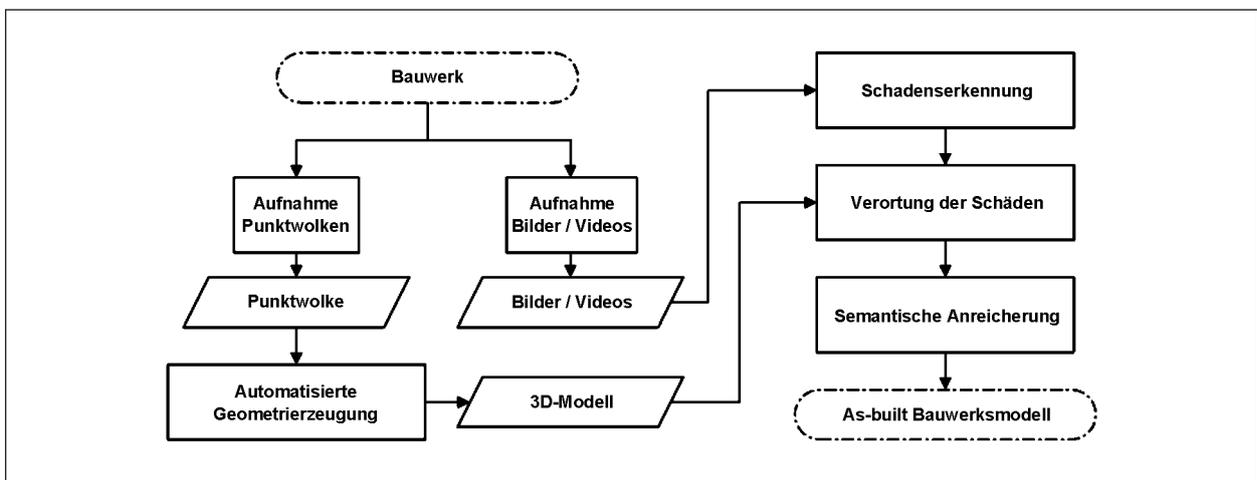


Bild 2-11: Schemenhafte Darstellung der semantischen Anreicherung bei einem Bauwerk [31]

Für den Detaillierungsgrad zur Beschreibung der benötigten Informationsmenge für die Erhaltung wird hier das sog. LoD Betrieb (siehe auch Kapitel 2.1.3) eingeführt, der neben den allgemeinen, unveränderlichen Informationen (äquivalent zu LoD 500 bzw. As-built-Modell) weitere Informationen bezüglich Inspektionen und Bauteilzuständen beinhaltet.

Zudem wurden im Rahmen des Projekts die spezifischen Randbedingungen für die BIM-gestützte Erfassung von Bestandsbauwerken untersucht und diesbezüglich ein schematischer Ansatz spezifisch für Brückenbauwerke entwickelt (siehe Bild 2-11). Auf Basis von Punktwolken können entsprechende 3D-Modelle abgeleitet werden, während die Anreicherung semantischer Informationen zum Bauwerks-

zustand zusätzlich durch Schadensbilder aus Aufnahmen generiert wird. Durch die Formulierung von entsprechenden Regeln bei der Modellerstellung, kann dies teilweise automatisiert erfolgen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht insbesondere bei der Digitalisierung der Datenerfassung während der Inspektion sowie der Zustandsbewertung. Derzeitige Schwächen zeigen sich dabei unter anderem in den bisher ausgearbeiteten Standards, welche noch nicht vollständig mit Blick auf die Anwendung von BIM ausgereift sind. Zudem gilt es weitere rechtliche und administrative Anforderungen an BIM-Modelle für die Betriebsphase von Infrastrukturbauwerken zu untersuchen, um eine Einführung in das Erhaltungsmanagement zu ermöglichen.

BIM-Erhaltungsmanagement im Straßenbau (FE 04.0299, BAST)

Im Forschungsprojekt „BIM-basiertes Erhaltungsmanagement im Straßenbau“ werden Konzepte zur Umsetzung eines BIM-basierten Datenmodells für die Erhaltung und den Betrieb von Bundesfernstraßen vorgestellt. Hierbei galt es, spezielle Anforderungen des Erhaltungsmanagements, vorhandene Datenformate bzw. verwendete Systeme und aktuelle Entwicklungen im europäischen und internationalen Raum zu berücksichtigen und dabei neue Möglichkeiten durch die Verfügbarkeit von detaillierten BIM-Modellen zu erarbeiten. Dies wurde in zwei konkreten Beispielen umgesetzt und angewendet. Dabei handelte es sich um ein fiktives und ein reales Anwendungsbeispiel, in dessen Zuge die Machbarkeit eines solchen Ansatzes exemplarisch aufgezeigt wurde. Hierbei wurden folgende besonders relevante Anwendungsfälle betrachtet:

- Baudokumentation des Straßenaufbaus
- Dokumentation des ZEB-Prozesses und Aufbereitung der Rohdaten
- Plausibilisierung der Zustandsgrößen und Zustandswerte
- Aktualisierung des As-built-Modells
- Unterstützung der Erhaltungsplanung

Auf Basis der priorisierten Anwendungsfälle ergaben sich folgenden Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Datenmodells:

- Parametrische Anpassung und Erzeugungen von Fachmodellen
- Definition von zusätzlichen Eigenschaften für einzelne Modellelemente
- Geometrische Verortung von zusätzlichen Informationen

Die Übergabe der Baudokumentation zur operativen Umsetzung einer Erhaltungsmaßnahme erfolgt in Zukunft auf Basis des IFC-Standards in volumenorientierter Form. Daher wurde für das Datenmodell zur BIM-basierten Erhaltungsplanung eine Weiterentwicklung und Konkretisierung des IFC-Datenmodells vorgenommen. Neben topologischen und physischen Elementen wurde auch eine Reihe von Eigenschaften sogenannten PropertySets, für Aufbaudaten des As-built-Modells und ZEB-Informationen, die während Zustandserfassung und -bewertung verarbeitet werden, spezifiziert.

Zur Evaluierung der Ergebnisse wurden zwei As-built-Modelle unter Verwendung von parametrischen Konzepten erzeugt und mit den entsprechenden Informationen angereichert. Insbesondere die Ergänzung des As-built-Modells mit zusätzlichen Informationen aus der Bauausführung wurde intensiv dokumentiert.

Erkenntnisse und Ergebnisse wurden so aufbereitet, dass diese in die internationale Normierung eingebracht werden können. Privatwirtschaftlichen Planern und ausführenden Bauunternehmen werden durch das neue Datenmodell bessere Planungsmöglichkeiten zugänglich, da alle relevanten Informationen kompatibel mit bestehenden BIM-Systemen zur Verfügung stehen. Für Hersteller von Softwarewerkzeugen ergibt sich ein verringerter Portierungs- und Modellpflegeaufwand durch ein einheitliches Datenmodell.

Verfahren für Kostenansätze von Straßentunnel (FE 15.577, BAST)

In diesem Forschungsvorhaben FE 15.0577/2012/FRB „Verfahren für Kostenansätze von Straßentunnel“ [32], welches durch die BAST beauftragt und durch das BMVI begleitet wurde, untersuchte der Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr-Universität Bochum, unterstützt durch die Ingenieurbüros Schüssler-Plan und BUNG, die Kostenentwicklung in den einzelnen Phasen von Straßentunnelprojekten der jüngeren Zeit. Neben einer Analyse der baubegleitenden Risiken wurden aus der Vielzahl der Daten ein stochastisches, softwaregestütztes Rechenmodell entwickelt, mit dem künftige Kostenschätzungen und -berechnungen exakter durchgeführt werden können.

Grundsätzlich wurden im Rahmen des Projekts keine BIM-Aspekte betrachtet, es wurden jedoch folgende Potenziale für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement identifiziert:

- Standard-Leistungsverzeichnisse

Eine wichtige Anforderung bei der Anwendung von BIM ist eine einheitliche Strukturierung der Daten, da ansonsten ein konsistenter und verlustfreier Austausch während des Lebenszyklus nicht gewährleistet ist. Dies kann wiederum zu einem erhöhten Mehraufwand führen. Dabei können die Standard-LVs für die unterschiedlichen Bauweisen und die betriebstechnische

Ausstattung, welche im Rahmen des Projektes erarbeitet wurden, als Grundlage für die Klassifizierung von Tunnelbauwerken und einer entsprechenden Kostenverknüpfung (4D-Planung) verwendet werden.

Durch die föderalistische Verwaltungsstruktur in Deutschland ist eine Einführung eines Standard-LVs jedoch zum jetzigen Zeitpunkt mit großen Schwierigkeiten behaftet. Die Auswertung der Kosten im Rahmen des Projektes zeigte allerdings, dass in unterschiedlichen Planungsphasen die Kostenstrukturen deutlich variieren. Aufgrund dessen ist mindestens für jedes Projekt oder im besseren Fall innerhalb jeder Verwaltungsorganisation eine einheitliche Strukturierung über den gesamten Lebenszyklus anzuwenden.

Mit der Gründung der Autobahngesellschaft Die Autobahn GmbH des Bundes im Jahr 2018 werden Planung, Bau, Betrieb, Erhaltung und Verwaltung der Autobahnen und der dazugehörigen Infrastrukturbauwerke ab 2021 zentralisiert. Hierdurch ergeben sich neue Möglichkeiten bei der Implementierung eines standardisierten Leistungsverzeichnisses. Aus ingenieurtechnischer Sicht stellt dies eine Empfehlung dar und ist hinsichtlich weiterer Randbedingungen (u. a. politisch) zu prüfen.

- **Kopplung mit Kostentools**

Über Schnittstellen können Daten aus einem BIM-Modell extrahiert werden und als Inputparameter für Analysetools verwendet werden. Durch die fortlaufende Aktualisierung der Daten (bspw. Kosten) können somit regelmäßig Kostenprognosen (insbesondere in der Planungsphase) und Lebenszykluskosten-Analysen durchgeführt werden. Da im Laufe der Betriebsphase weitere Informationen über Folgekosten dem Modell zu entnehmen sind, können somit Unsicherheit und Risiken bei der LZK-Analyse mit zunehmender Betriebsdauer reduziert werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeiten durch eine automatisierte Auswertung von Modellen verschiedener Tunnelprojekte die Datengrundlage des Kostenprognosetools im Sinne des Machine Learning bzw. Neuronaler Netze zu erweitern (Intelligente Tunnel). Zudem kann die Bandbreite von Kostenwerte für das richtwertbasierte Verfahren vergrößert werden, welches in der Regel mit weniger Unsicherheiten und einem geringen Risiko behaftet ist.

Rijkswaterstaat „BIM-Programma“ in den Niederlanden

In den Niederlanden ist die Verwaltungsbehörde Rijkswaterstaat maßgeblich an der Entwicklung und Implementierung von BIM-Konzepten für Infrastrukturbauwerke beteiligt. Dazu wurden im Rahmen des sog. BIM-Programmes Softwaretools, Standards, Modelle und Anleitungen entwickelt, die frei zugänglich sind. Zudem werden Schulungen angeboten. Die jeweiligen Inhalte können auf der Internetplattform der Rijkswaterstaat heruntergeladen werden [33]. Dazu zählen unter anderem:

- ILS (niederl. Informatieleveringsspecificatie); Festlegungen eines standardisierten Informationsaustausches zwischen Rijkswaterstaat und Auftragnehmer, vergleichbar mitspezifizierten Anwender-Informationen-Anforderungen (AIA), siehe auch Kapitel 2.1
- VISI (niederl. Nederlandse open standaard voor communicatie en informatieoverdracht bij bouwprojecten); Strukturierung und Verwaltung von Absprachen innerhalb von Bauprojekten
- OTL (niederl. Objecttypenbibliotheek); Modellierungssprache für objektorientierte Modelle zum Austausch digitaler Informationen zwischen Rijkswaterstaat und Auftragnehmern über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks
- COINS (niederl. Constructieve Objecten en de Integratie van Processen en Systemen); Standardisiertes Datenaustauschformat zwischen Rijkswaterstaat und Auftragnehmern
- BIM-Loket; Niederländische Plattform zur Implementierung von BIM im niederländischen Bausektor und zur Verwaltung des öffentlichen BIM-Standards

Die Umsetzung bzw. Einführung von BIM findet derzeit in 24 Infrastrukturprojekten statt (Stand: November 2018). Darüber hinaus werden von der Rijkswaterstaat Forschungsprojekte zur weiteren Entwicklung von BIM-Konzepten mitfinanziert. Aus diesem finanzierten Rahmenprogramm resultiert bspw. das Tunnelinformationsmodell, welches von VOSSEBELD [34] entwickelt wurde und relevante Daten für das Tunnelmanagement (in der Betriebsphase) zusammenfasst und entsprechend strukturiert. Der Fokus des Modells liegt auf der Wartung- und Instandhaltung sowie der Sicherheitsbewertung von Straßentunneln.

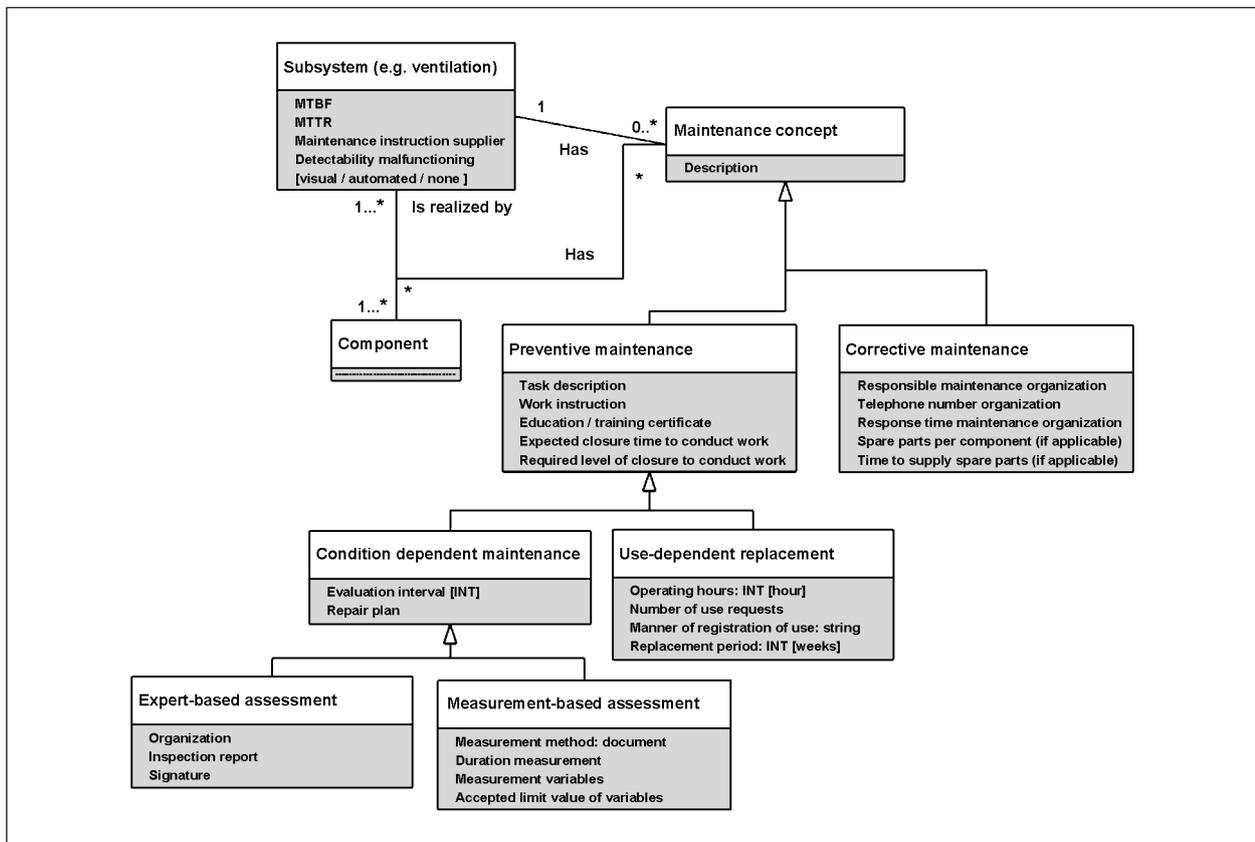


Bild 2-12: Ontologie für Instandhaltungskonzepte nach Prinzipien eines UML-Diagrammes [35]

Hierzu wurde zunächst eine Analyse der Anforderungen resultierend aus Regelwerken und Richtlinien durchgeführt, um eine sowohl eine generische Systembeschreibung von Straßentunneln und der Betriebstechnik abzuleiten als auch betriebliche Abläufe zu identifizieren. Ergänzend dazu wurden Experteninterviews mit Akteuren des Tunnelbetriebs durchgeführt. Die ermittelten Anforderungen wurden in einem zweiten Schritt anhand von identifizierten Anwendungsfällen (u. a. Bewertung von Instandhaltungsmaßnahmen) in eine Systemstruktur überführt, welche auf Basis von UML-Diagrammen (Unified Modeling Language) dargestellt wird.

In Bild 2-12 die Ontologie für die Wartung- und Instandhaltung eines Straßentunnels schematisch dargestellt. Die Klasse Subsysteme fasst dabei einzelne Elemente der betriebstechnischen Ausstattung zusammen (bspw. Ventilation, Beleuchtung), welche wiederum in einzelne Komponenten zerlegt werden kann. Jedes Subsystem besitzt dabei ein Instandhaltungskonzept, welches in dieser Darstellung in präventive oder korrektive Maßnahmen zu unterteilen ist, welche die Auslegung des Konzeptes beeinflussen. Während korrektive

Maßnahmen keine weiteren Abhängigkeiten aufweisen, können präventive Maßnahmen zustandsbedingt oder nutzungsbedingt erfolgen. Eine zustandsbedingte Instandhaltung kann durch expertenbasierte Einschätzungen oder auf Grundlage von Messungen erfolgen. Für jede Klasse sind zusätzlich entsprechende Attribute gelistet.

Implementierung von BIM-basierten Instandhaltungssystemen in Frankreich und China

Im Rahmen von Forschungsarbeiten in Frankreich entwickelten SAMI et.al. [36] ein Konzept für ein BIM-Modell, dass zur Unterstützung des Managements von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen verwendet werden kann. Kernbestandteil des zur Bewertung des Einflusses von Maßnahmen ist dabei eine funktionale Analyse von Objekten des Tunnelbauwerks.

Bild 2-13 zeigt anhand eines Interaktionsdiagramms, welche Parteien an dem Modell im Rahmen der Wartung- und Instandhaltung (in diesem Fall für U-Bahn-Tunnel) partizipieren und welche Anforderungen jeweils bestehen. Es wird zwischen

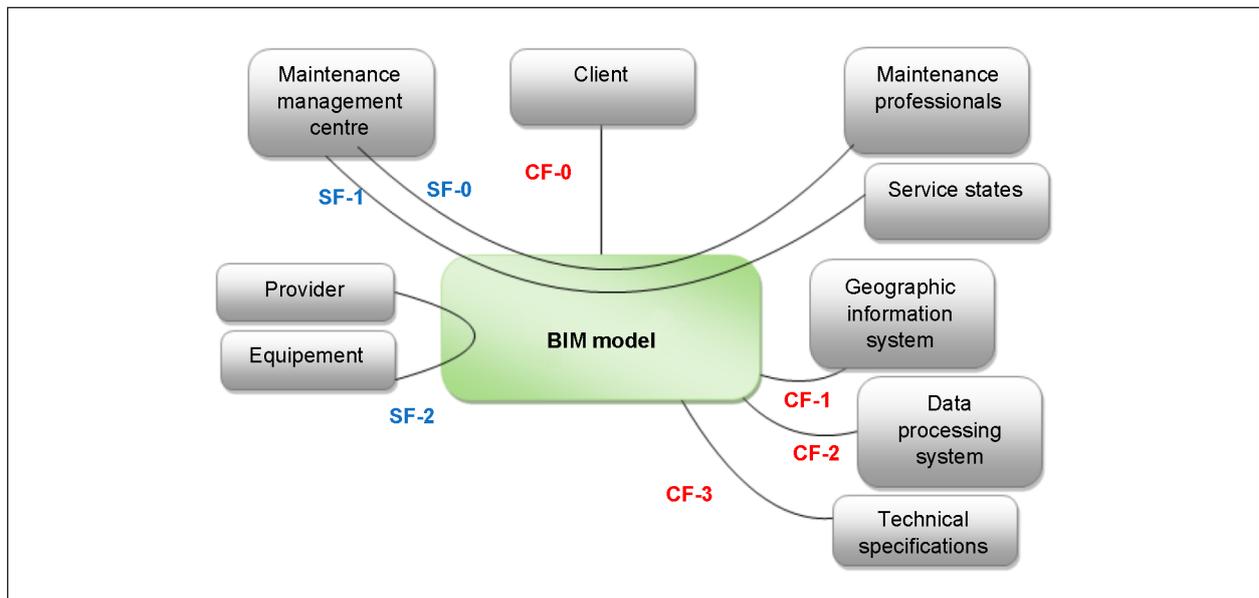


Bild 2-13: Interaktionsdiagramm eines BIM-Modells [36]

sog. Service Functions (SF) und Constraint Functions (CF) unterschieden.

Erstere beschreiben die Funktionen, welche das Modell zu leisten hat. Als grundlegende Funktion (SF-0) ist dabei die Optimierung der Wartung- und Instandhaltung. Weitere, sekundäre Funktionen sind die Darstellung der Betriebsfunktionen einzelner Objekte (SF-1), sowie die Bereitstellung von Informationen über benötigtes Equipment zur Durchführung der Wartung- und Instandhaltungsarbeiten (SF-2).

Constraint Funktionen hingegen, beschreiben Einschränkungen die das Modell mit sich bringt bzw. für eine effiziente Nutzung berücksichtigt werden müssen. Grundlegende Einschränkung ist, dass das Modell für alle Nutzer anwendbar sein muss (CF-0). Sekundäre Funktionen sind eine Kompatibilität mit Geoinformationssystemen sowie gängige CAD-Softwareanwendungen (CF-1, CF2), sowie die Berücksichtigung anderer Spezifizierungen.

Zur Entwicklung des Modells sind folgende Schritte durchzuführen:

- 1) Bildung einer objektorientierten Strukturierung und Festlegung von Mitwirkenden am Modell unter Berücksichtigung der Funktionsanalyse
- 2) Klassifizierung der Objekte
- 3) Definition der wichtigsten Parameter und deren Zustände, welche die Degradation des entsprechenden Objektes global beeinflussen

- 4) Klassifizierung der Parametereigenschaften in entsprechenden Datenblättern
- 5) Quantitative Bewertung und Betrachtung der Lebenszykluskosten
- 6) Erfassung des Betriebszustandes durch Abfragen des Zustandes einzelner Objekte, automatisierte Berechnung mittels Funktionsanalyse und Entscheidungsfindungen hinsichtlich zu erwartender Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen

Es wird empfohlen, dabei die notwendigen Voruntersuchungen zur Implementierung des Modells automatisiert ablaufen zu lassen, bspw. unter Einsatz statistischer Analysen zur Identifizierung von Beziehungen zwischen Objekten und Kategorien. Zusammengefasst stellt das Konzept einen Ansatz zur zustandsorientierten Wartungs- und Instandhaltungsplanung dar und berücksichtigt dabei auch Informationsaustauschprozesse und Anforderungen von Mitwirkenden während der Betriebsphase.

In Vergleich dazu wurde in China (Zhejiang Provinz) CHEN et. al. [37] ein ganzheitliches Konzept übergreifend für die Planung, den Bau und die Betriebsphase zur Anwendung bei einem Straßentunnelprojekt entwickelt. Das verwendete Tunnelmodell wurde dabei zu Beginn entsprechend strukturiert, dass es einen verlustfreien Austausch von Informationen zwischen den einzelnen Phasen ermöglicht.

Basierend auf dem Tunnelmodell wird für die Bau-phase ein Bauzeit- und Kostenmanagement (4D

und 5D) durchgeführt, welche Unsicherheiten und Zufälligkeiten im Bauprozess aufzeigt sowie Kosten auf Grundlage von Mengenermittlungen dynamisch und termingerecht bestimmt. Insgesamt ergibt sich dabei eine Optimierung, bspw. der Baustellenauslastung und des effizienten Ressourceneinsatzes. Zur Überführung in die Betriebsphase werden die Informationen über das Tunnelbauwerk und die betriebstechnische Ausstattung vereinfacht und für die weitere Verwendung angepasst. Über eine Schnittstelle werden 3D-Modell und Informationsmodell verknüpft und Inspektions- und Wartungsmaßnahmen können über Entitäten auf der Grundlage entsprechender Spezifikationen entwickelt werden.

3 Organisatorische Vorgaben

Ein wesentlicher Schritt hinsichtlich der Analyse von Betreiberanforderungen ist die Erfassung organisatorischer Vorgaben des Betriebs von Straßentunneln. Im Allgemeinen wurden dazu entsprechende Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen analysiert.

Die Erfahrungen im Umgang mit aktuellen Bauwerken des Bundesfernstraßennetzes zeigen jedoch auch, dass die Anforderungen über die rein regulativen Vorgaben hinausgehen müssen, um spezifische Eigenheiten des Betriebs vor Ort abbilden zu können. Um einen genaueren Überblick über die sich hieraus ergebenden Anforderungen zu erhalten, wurden im Rahmen der Analyse auch Experteninterviews mit Vertretern von Landesbehörden durchgeführt. So konnten sowohl die Randbedingungen als auch der spezifische Bedarf für ein BIM-basiertes Betriebskonzept erfasst werden. Die aggregierten Erkenntnisse zu den resultierenden or-

ganisatorischen Vorgaben, welche aus den vorgeschalteten Analysen und den Interviews resultieren, sind im Folgenden dargestellt, wobei eine Einteilung gemäß der in Bild 3-1 dargestellten Struktur erfolgt.

Dabei geht aus den strategischen Zielen die Organisationsstruktur zum Erreichen dieser Ziele hervor (administrative Randbedingungen). Den entsprechenden Organisationseinheiten werden diesbezüglich Aktivitäten zugeordnet, dessen Abläufe hinsichtlich der Informationsanforderungen zu berücksichtigen sind. Dies inkludiert auch eine Betrachtung von weiteren organisatorischen Aspekten des Normal- bzw. Notfallbetriebs wie bspw. Instandhaltungszyklen, Kostenstrukturen oder Auswirkungen von Notfallszenarien (betriebliche Randbedingungen). Abschließend werden Anforderungen an die Dokumentation sowie an die Zustands- und Datenerfassung analysiert, welche aus den aktuellen Regelwerken, Richtlinien und Empfehlungen hervorgehen (regulative Randbedingungen).

3.1 Administrative Randbedingungen

3.1.1 Rechtliche Grundlagen

Aus der Gesetzgebungskompetenz des Bundes, unter anderem für den Bau und die Unterhaltung von Landstraßen für den Fernverkehr gemäß Grundgesetz Art. 74 Nr. 22 [38], geht das Bundesfernstraßengesetz (FStrG) [39] hervor. Dabei umfassen Bundesfernstraßen sowohl Bundesautobahnen als auch Bundesstraßen mit den Ortsdurchfahrten [39, §1 (1)]. Dazu gehören neben der eigentlichen Straße auch Infrastrukturbauwerke des Streckennetzes wie Tunnel und Brücken (siehe [39, §1 (4)]). Der Bund ist Straßenbaulastträger der

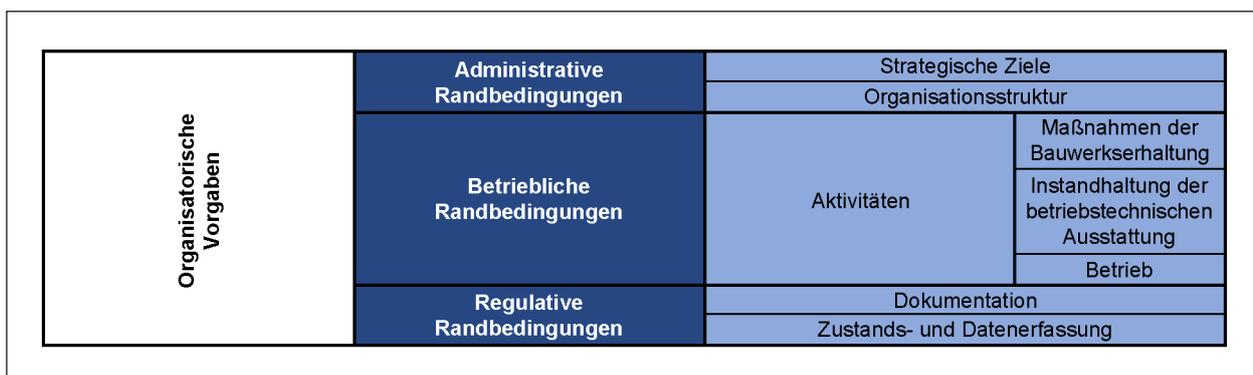


Bild 3-1: Übersicht der organisatorischen Vorgaben, die sich maßgeblich aus administrativen, betrieblichen und regulativen Randbedingungen zusammensetzen

Bundesfernstraßen, wodurch ihm alle mit dem Bau und der Unterhaltung zusammenhängenden Aufgaben obliegen (siehe [39, §5 (1)]). Davon ausgenommen sind Bundesfernstraßen, bei denen die Straßenbaulast aufgrund von gesetzlichen Vorschriften oder öffentlichrechtlichen Verpflichtungen anderen zugeteilt ist. Die wesentlichen Anforderungen an die Straßenbaulastträger gehen aus [39,§3 (2)] sowie [39, §4] hervor, welche durch die gesetzlichen Regelungen im Bürgerlichen Gesetzbuch hinsichtlich der Schadensersatzpflicht [40, §823] und der Haftung des Grundstückbesitzers bzw. der Verkehrsicherungspflicht [40, § 836] entstehen (siehe Tabelle 3-1).

Hinsichtlich der Verwaltung der Bundesfernstraßen ergibt sich infolge der Grundgesetzänderung vom 20.07.2017, dass die Verwaltung der Bundesautobahnen spätestens zum 01.01.2021 durch den Bund, bzw. der dazu gegründeten Gesellschaft Autobahn GmbH, erfolgt (vorher Aufgabe der Länder). Sonstige Bundesfernstraßen sind weiterhin durch die Länder bzw. entsprechenden Selbstverwaltungskörperschaften zu verwalten, können jedoch auf Antrag auch an die Autobahngesellschaft

übergeben werden. Hoheitliche Aufgaben, die weder im Zuständigkeitsbereich des BMVI oder der Autobahn GmbH liegen, werden zukünftig durch das ebenfalls neu aufgestellte Fernstraßen-Bundesamt (FBA) durchgeführt. [41]

3.1.2 Administrative Anforderungen aus Vorschriften und Empfehlungen

Eine Vielzahl an Maßnahmen bzw. Leistungen zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheit und Nutzung von Straßentunneln, welche aus der Gesetzgebung des Bundes hervorgehen, werden weitestgehend im Rahmen von Regelwerken, Richtlinien und Empfehlungen festgelegt und beschrieben.

Für die weitere Betrachtung im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden nachfolgende Differenzierungen berücksichtigt:

- (1) Die Einteilung der Lebenszyklusphasen von Straßentunnel erfolgt gemäß der DAUB-Empfehlung zur Ermittlung von Lebenszykluskosten [22] (siehe Kapitel 2.2). Diesbezüglich erfolgt

Gesetzliche Anforderungen an den Straßenbaulastträger	
„Die Träger der Straßenbaulast haben nach ihrer Leistungsfähigkeit die Bundesfernstraßen in einem dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügenden Zustand zu bauen, zu unterhalten, zu erweitern oder sonst zu verbessern; dabei sind die sonstigen öffentlichen Belange [...] zu berücksichtigen.“	FStrG, § 3 (1). [39]
„Die Träger der Straßenbaulast haben dafür einzustehen, dass ihre Bauten allen Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. [...]“	FStrG, § 4 [39]

Tab. 3-1: Anforderungen an den Straßenbaulastträger gemäß Bundesfernstraßengesetz [39]

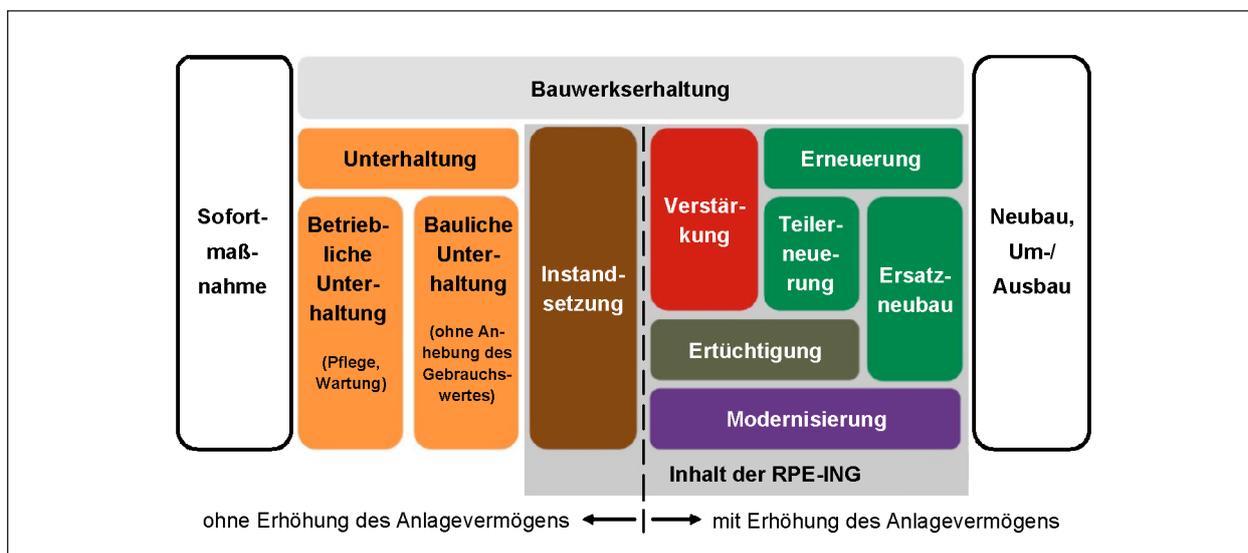


Bild 3-2: Darstellung der Begriffssystematik der Bauwerkserhaltung gemäß RPE-ING [42]

eine Differenzierung zwischen dem Tunnelbauwerk und der Tunnelausstattung.

- (2) Die Erhaltung oder Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustandes während des Lebenszyklus eines Objektes wird gemäß DIN 31051 [23] als Instandhaltung definiert. Der Begriff umfasst die Maßnahmen der Wartung, Inspektion, Instandhaltung und Verbesserung. Mit Bezug auf Straßentunnel lässt sich diese Definition vorrangig der betriebstechnischen Ausstattung zuordnen. Hinsichtlich des konstruktiven Tragwerks ist die Begriffssystematik der Bauwerkserhaltung gemäß RPE-ING [42] maßgebend. Demnach umfasst die Bauwerkserhaltung alle Maßnahmen der Unterhaltung, Instandsetzung und Modernisierung an Ingenieurbauwerken.
- (3) Das „Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst“ [43] unterscheidet zwischen Leistungen des Betriebsdienstes (Kontrolle/Prüfung, Wartung/Pflege/Kleinreparaturen), Leistungen der Erhaltung/(Instandsetzung, Erneuerung) und Leistungen des Neubaus, Um- und Ausbaus bzw. der Erweiterung, welche aufgrund veränderter Anforderungen an die Funktionsfähigkeit oder Substanzverbesserung durchgeführt werden.

Nachfolgend werden unter Berücksichtigung der Differenzierungen die administrativen Anforderungen resultierend aus der Nutzung des Tunnelbauwerkes bzw. der Tunnelausstattung betrachtet.

Tunnelbauwerk

Durchzuführende Maßnahmen zur Bauwerksüberwachung und Bauwerksprüfung von Straßentunneln (bzw. Ingenieurbauwerke im Allgemeinen) werden in der DIN 1076 [44] geregelt. Gemäß der Differenzierung nach (2) ist die Bauwerksüberwachung bestehend aus der laufenden Beobachtung und Besichtigungen eine Inspektionsmaßnahme („Prüfung auf Konformität der maßgeblichen Merkmale eines Objektes [...] durch Messung, Beobachtung oder Funktionsprüfung“ zuzuordnen“ [44, S.5]). Gemäß (3) lässt sich die Bauwerksüberwachung somit zu den Leistungen des Betriebsdienstes zuordnen.

Im Gegensatz dazu ist die Bauwerksprüfung nach (2) bzw. gemäß RPE-ING [42] eine Maßnahme zur Erfassung des Bauwerkszustands. Das Leistungsheft bzw. (3) fasst die Bauwerksprüfung damit als Leistung der Erhaltung.

Hinsichtlich des einzusetzenden Personals wird normativ geregelt, dass sowohl mit der Bauwerksüberwachung als auch mit der Bauwerksprüfung sachkundige Personen (u. a. Ingenieure oder Techniker) zu beauftragen sind. Darüber hinaus sind die in der DIN 1076 [44] beschriebenen Maßnahmen ausschließlich für die rechtzeitige Erkennung und Bewertung von Schäden und Mängel. Maßnahmen zur Beseitigung werden nicht beschrieben.

Ergänzende Dokumente sind u. a. die RI-EBW-PRÜF [45], welche Vorgaben zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung beschreibt. Die Erfassung von Daten im Rahmen der Erhaltung von Ingenieurbauwerken erfolgt zudem in SIB-Bauwerke, welche aktuell in der Version 1.9 (Stand Juli 2020) vorliegt und unter anderem auf Grundlage der Anforderungen gemäß ASB-Ing [6] konzipiert wurde. Die Datenbank ist dabei auch Grundlage für das Bauwerk-Management-System (BMS) [46], welches die Erhaltungsplanung unterstützen bzw. insbesondere hinsichtlich wirtschaftlicher Aspekte optimieren soll.

Vorgaben unter anderem auch zum Betrieb von Straßentunneln mit Bergwasserdränagesysteme werden in der RI-BWD-TU [47] aufgeführt, welche unter anderem das Ziel verfolgt, die wirtschaftlichen Folgen bezüglich der Instandhaltungs- bzw. Wartungskosten durch Versinterung der Dränagesysteme zu reduzieren.

Tunnelausstattung

Derzeit gültige Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln ist die RABT 2006 [25], welche durch die 2019 veröffentlichten Empfehlungen, den EABT-80/100 [24], ergänzt werden. Dort sind die Vorgaben der europäischen Richtlinie 2004/54/EG [48] umgesetzt, welche im Zuge der verheerenden Tunnelbrände um die Jahrtausendwende im Jahr 2004 vom Europäischen Parlament verabschiedet wurde und die Mindestanforderungen an die Sicherheit von Straßentunneln des Trans European Road Network (TERN) definiert. Demnach beschreibt die RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24] Maßnahmen die „vorrangig der sicheren Verkehrsführung der Vermeidung kritischer Ereignisse, dem Schutz der Tunnelnutzer und der Umwelt sowie der Unterstützung der Einsatzdienste bei Bränden, Unfällen und Pannen“ [25, S.7] dienen. Ziel ist es dabei insbesondere, dass die Ausstattung von Straßentunneln nach den glei-

chen Grundsätzen und Kriterien konzeptioniert wird und dadurch unter Berücksichtigung verkehrlicher, infrastruktureller und wirtschaftlicher Aspekte ein sicherer Betrieb gewährleistet wird.

Als notwendige Maßnahmen sowohl hinsichtlich der Leistungen des Betriebsdienstes als auch bezüglich der Leistungen im Rahmen der Erhaltung sind gemäß RABT 2006 [25]:

- Überwachen, Steuern und Sichern des Verkehrs im Normal-, Störungs- und Notfall
- Überwachen, Steuern und Regeln der technischen Betriebseinrichtungen im Normal-, Störungs- und Notfall
- Reinigen der Betriebseinrichtungen und des Bauwerkes
- Unterhaltung, Instandsetzung und Erneuerung der technischen Betriebseinrichtungen
- Organisationspläne für den Notfall (Panne, Unfall, Brand).

Die EABT-80/100 [24] fasst diese Maßnahmen unter Überwachung, Instandhaltung (mit Bezug auf die Begriffsdefinition nach (3)) und Notfallmanagement zusammen. Weitere Maßnahmen aus der RABT 2006 [25] bzw. den EABT-80-/100 [24] umfassen die Inbetriebnahme, wiederkehrende Inspektionen, die Datensammlung zur Erstellung von Berichten sowie die Durchführung von Übungen.

Eine Beschreibung des erforderlichen Aufgabenumfanges erfolgt im Merkblatt für die Kontrolle, Wartung und Pflege von Straßentunneln M KWPT [26], welche die Maßnahmen der zur Bauwerksüberwachung, Überwachung gemäß RABT 2006 [25] bzw. EABT-80/100 [24] und Instandhaltung ausführlich beschreibt. Grundsätzlich legt das M KWPT den erforderlichen Umfang fest, damit „die Sicherheit und die Funktionsfähigkeit der Straßentunnel und ihrer Anlagenteile entsprechend Planungsunterlagen, Betriebshandbuch und Sicherheitskonzept gewährleistet sind“ [26, S.5].

In Kapitel 3.2 erfolgt eine detaillierte Analyse der einzelnen Prozesse bzw. untergeordneten Leistungen resultierend aus dem Straßentunnelbetrieb bzw. insbesondere der Bauwerkserhaltung und der Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung. Anforderungen an die Dokumentation und die Erfassung von Bauwerks- und Zustandsdaten resultierend aus den gültigen Regelwerken, Richtlinien und Empfehlungen erfolgt in Kapitel 3.3.

3.1.3 Organisationsstruktur

Als Eigentümer der Bundesfernstraßen liegt die Verantwortung zur Verteilung und Verwendung der Haushaltsmittel beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), wobei die Aufgaben durch die Abteilung Bundesfernstraßen wahrgenommen werden. [49] Aufgabenfelder, die Brücken, Tunnel und sonstige Ingenieurbauwerke betreffen, werden durch das entsprechende Fachreferat (aktuell StB 24 Ingenieurbauwerke) wahrgenommen. [50] Diese umfassen für die Planung unter anderem die Zustimmung der Entwurfsunterlagen sowie die Erteilung des Gesehenvermerk nach Überprüfung der technischen Machbarkeit und rechtlicher Durchführung [51]. Hinsichtlich der Erhaltung der Ingenieurbauwerke werden den Ländern auf Grundlage der Erhaltungsbedarfsprognose die vorhandenen finanziellen Mittel zugewiesen. Die Planung und Umsetzung der Erhaltungsmaßnahmen obliegen, neben dem Betrieb, den Ländern.

Dabei unterscheidet sich der Aufbau der Straßenbauverwaltungen in den meisten Ländern, woraus sich wiederum unterschiedliche Abläufe ableiten lassen. Im Allgemeinen übernimmt dabei eine ministerielle Dienststelle die Funktion als oberste Verwaltungsbehörde, welche u. a. grundsätzliche Entscheidungen in den Bereichen Planung, Bau und Betrieb bzw. Erhaltung von Tunnelbauwerken sowie betriebstechnischen Ausstattungen trifft bzw. diese eng mit den untergeordneten Verwaltungsbehörden abspricht. Diese umfassen dabei u. a. die tunnelbautechnische sowie betriebstechnische Prüfung von Vorentwürfen, die Planung von Erhaltung- bzw. Instandhaltungsstrategien sowie insbesondere die Abstimmungen mit dem BMVI [52]. Die beschriebene heterogene Struktur wird an den Beispielen BW, Bayern und NRW etwas näher erläutert:

- Baden-Württemberg

Die Hierarchiestruktur in BW ist dreigliedrig (siehe Bild 3-3). An oberster Stelle steht das Verkehrsministerium, welches die Funktion der obersten Straßenbaubehörde wahrnimmt. Darunter angeordnet sind vier Regierungspräsidien (Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Tübingen), die derzeit noch für die Planung von sämtlichen Bundesfernstraßen sowie den Betrieb der sich im Einzugsgebiet befindenden Autobahntunnel verantwortlich sind. Zur Unterstützung der Aufgaben hinsichtlich des Betriebs bzw. der Erhaltung sind an die Regierungspräsidien die Auto-



Bild 3-3: Dreigliedrige Hierarchiestruktur der Straßenbauverwaltung in Baden-Württemberg [53]

bahnmeistereien angegliedert. Dem Regierungspräsidium Tübingen ist zusätzlich die Landesstelle für Straßentechnik angebunden, welche u. a. für Straßentunnel der Bundesautobahnen im Einzugsgebiet von Baden-Württemberg die betriebstechnischen Entwürfe erstellen sowie fachtechnische Stellungnahmen für betriebstechnische Entwürfe von Bundes- und Landstraßentunnel an das Verkehrsministerium abgeben. Für den Betrieb der Tunnel im Zuge von Bundes- und Landstraßen sind die untersten Verwaltungsbehörden der jeweiligen Landratsämter zuständig.

- Bayern

In Bayern übernimmt das Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr die übergeordneten Aufgaben der obersten Verwaltungsbehörde. Für das operative Geschäft hinsichtlich der Planung, des Baus und des Betriebs von Bundesautobahnen sind ihr derzeit die Autobahndirektionen Nord- und Südbayern als Landesbehörden unterstellt. [54]

- Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen übernimmt das Verkehrsministerium Nordrhein-Westfalen die Funktion als oberste Verwaltungsbehörde. Diesem direkt untergeordnet ist der Landesbetrieb Straßen.NRW, welcher zentralisiert die Aufgaben der Planung, des Baus und der Unterhaltung von Autobahnen, Bundes- und Landstraßen so-

wie einige Kreisstraßen wahrnimmt. Der Betriebsitz als Zentrale befindet sich in Gelsenkirchen. Neben 10 Regionalniederlassungen gibt es zwei Autobahnniederlassungen Krefeld und Hamm in denen unter anderem für die jeweiligen Einzugsgebiete die Tunnelleitzentralen untergebracht sind. Zudem nehmen die Meistereien Aufgaben des Betriebsdienstes dar. Aufgaben hinsichtlich der Planung und Ausführung der betriebstechnischen Ausstattung werden zentralisiert durch die Projektgruppe Tunnel wahrgenommen. [55]

Bezüglich der oben beschriebenen Maßnahmen zur Erfüllung der administrativen Anforderungen an den Betrieb von Straßentunneln ist bei der Organisation zwischen den Maßnahmen bezüglich der Bauwerkserhaltung (u. a. Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung) und den Maßnahmen bezüglich der Tunnelsicherheit zu unterscheiden.

Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) fasst die derzeitigen Umsetzungen in den Straßenbauverwaltungen in [56] zusammen, wobei der Fokus auf der Organisation zur Brückenerhaltung liegt. Während die Bauwerksüberwachung in der Regel von den zuständigen Straßenmeistereien durchgeführt wird, ist bei der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076 [44] grundsätzlich eine zentrale Organisation (über eine Stelle) auf

Land	Organisationsform der Prüfung	Prüfteams (1 Ingenieur + 1-2 Techniker)
Baden-Württemberg	Dezentral bei den Regierungspräsidien	10 Prüfteams (+zeitweise 15 Ingenieure für die einfache Prüfung)
Bayern	Dezentral bei staatl. Bauämtern und Autobahndirektionen	Ca. 40 Prüfteams (i. d. R. 1 Ingenieur + 1 Techniker)
Nordrhein-Westfalen	Zentral/dezentral	12 zentrale Prüfteams

Tab. 3-2: Übersicht der Organisation von Bauwerksprüfungen nach [56]

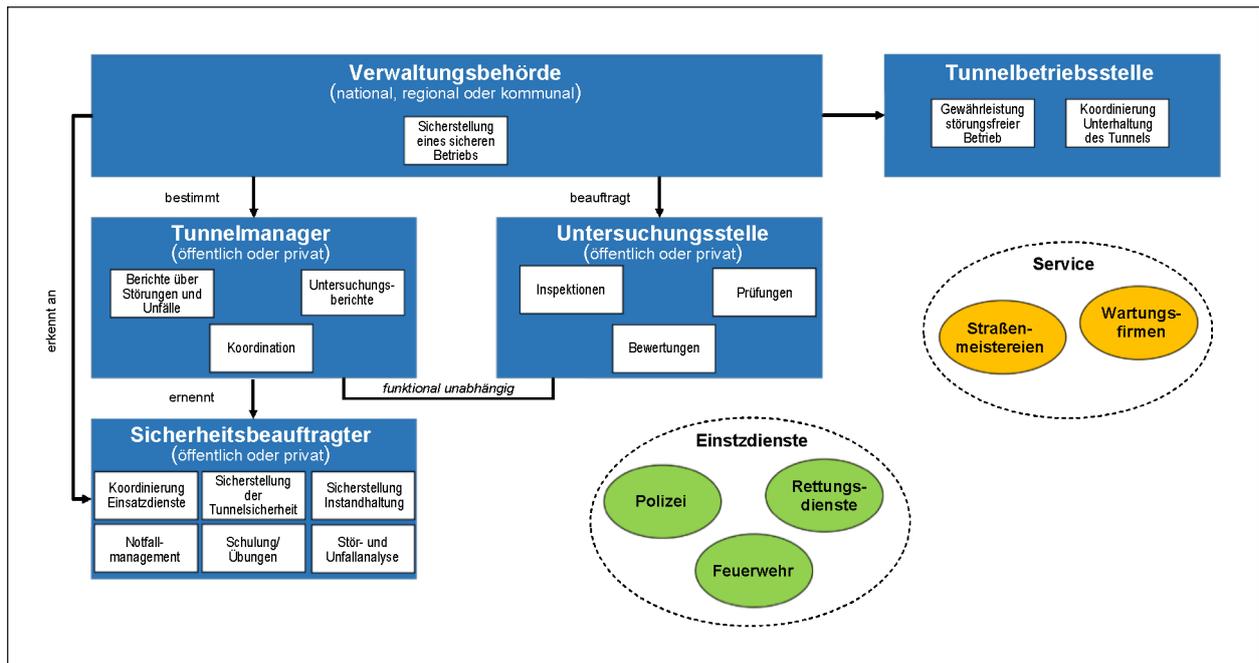


Bild 3-4: Organisationsstruktur zur Gewährleistung der Sicherheitsanforderungen mit Abbildung beispielhafter Schnittstellen gemäß RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24]

Länderebene zu empfehlen, wobei die Anforderungen aus der hohen Anzahl von Brückenbauwerken resultiert. Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die Organisation der Bauwerksprüfung in den jeweiligen Ländern der interviewten Experten. Es wird deutlich, dass die Organisation eng mit der strukturellen Ausrichtung der Verwaltung verknüpft ist.

Es besteht zudem die Möglichkeit, dass die Bauwerksprüfung durch Dritte durchgeführt wird, wobei die Verantwortung im Rahmen der Straßenbaulast, stets bei der Straßenbaubehörde verbleibt [56].

Tunnelsicherheit

Neben den oben beschriebenen Maßnahmen stellt die RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24] Anforderungen an die Organisationsformen, um das geforderte Sicherheitsniveau dauerhaft gewährleisten zu können. Daraus ergibt sich

ein Spannungsfeld der jeweiligen Organisationseinheiten (Verwaltungsbehörde, Tunnelmanager, Untersuchungsstelle, Sicherheitsbeauftragter und Tunnelbetriebsstelle). Bild 3-4 zeigt die Beziehung der jeweiligen Einheiten untereinander und gibt zudem die entsprechenden Aktivitäten gemäß RABT 2006 [25] bzw. EABT-80/100 an [24]. Darüber hinaus werden die Einsatzdienste und der Service als Schnittstellen dargestellt, welche hinsichtlich der übergeordneten Zielsetzung zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs die Organisationseinheiten unterstützen. Eine detaillierte Betrachtung einzelner Aktivitäten und der Informationsprozesse, die aus der Richtlinie bzw. den Empfehlungen hervorgehen, erfolgt in Kapitel 3.2.

3.1.4 Strategische Ziele

Die Einführung der BIM-Methodik stellt eine langfristige Entwicklung dar, welche auf der einen Seite durch den Stufenplan zwingend vorgeschrieben wird, auf der anderen Seite aber auch Chancen bei den Betreibern von Straßentunnel hinsichtlich der strategischen Ausrichtung ermöglichen. Im Rahmen der Experteninterviews wurden dazu die allgemeinen, strategischen Ziele der jeweiligen Organisationen diskutiert.

Ein allgemeines Ziel, um die Anforderung an die hohe Verfügbarkeit [39, §3 (1)], siehe oben) zu erfüllen, ist die Bündelung von Arbeiten am Straßentunnel, um möglichst geringe Beeinträchtigungen zu haben. Diesbezüglich beschreibt bspw. das „Merkblatt für Kontrolle, Wartung und Pflege von Straßentunneln“ (M KWPT) [26] Anforderungen hinsichtlich der Bündelung von anfallenden Arbeiten, welche auch die Aktivitäten durch die Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076 und die Tunnelinspektion durch die Untersuchungsstelle gemäß RABT 2006 bzw. EABT-80/100 umfassen. Um gegenseitige Behinderungen und Gefährdungen zu vermeiden, sind die Arbeiten dementsprechend zu koordinieren.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit während des Betriebs derzeit auch ein Umdenken im Bereich der Planung statt, bei dem vermehrt die Lebenszykluskosten anstelle der Herstellungskosten maßgebend sind. So kann bspw. ein kostenintensiverer, breiterer Querschnitt zur Erstellung eines Standstreifens dazu führen, dass während eines Eingriffs im Zuge des Betriebs (bspw. bei längerfristigen Instandsetzungsmaßnahmen) dieser als weiterer Fahrstreifen freigegeben werden kann, um die Verfügbarkeit aufrechtzuerhalten bzw. die Einschränkungen zu reduzieren.

Hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen an Straßentunnel bzw. der Aufgabe der Verwaltungsbehörde bezüglich der Gewährleistung eines sicheren Betriebs (siehe RABT 2006 bzw. EABT-80/100) ergibt sich als langfristige Aufgabe die Nachrüstung von Straßentunnel, welche bei den Betreibern vielmehr als Kreislauf betrachtet wird. Die allgemeine Aufgabe der Vereinheitlichung von Bestandstunneln umfasst derzeit bspw. in Nordbayern die vollständige Umrüstung auf LED-Technik bei Tunnelleuchten, welche insbesondere aufgrund des äußeren, politischen Einflusses durch europäische Verordnungen wie die 245/2009/EG [57] angetrieben wird.

Darüber hinaus ergeben sich auch strategische Ziele aufgrund umweltrelevanter Anforderungen. Die geothermische Nutzung von Bergwasser kann bspw. zu betriebswirtschaftlichen Optimierungen führen.

In Tabelle 3-3 sind die strategischen Ziele aus den Experteninterviews zusammengefasst, welche direkt mit der Einführung der BIM-Methodik verknüpft sind. Die Gesprächspartner sollten dabei eine Einordnung bezüglich der Dauer (5, 10 bzw. 30 Jahre) zum Erreichen der Ziele angeben. Grundsätzlich ist anzumerken, dass strategische Ziele zwar administrative Anforderungen hinsichtlich der zukünftigen Ausrichtung darstellen, sich jedoch grundlegend aus den betrieblichen Randbedingungen ableiten lassen, welche in Kapitel 3.2 erfasst werden.

Gemäß Einschätzung der Experten ist eine ausgereifte Implementierung von BIM als wesentlicher Bestandteil der Abwicklung von Arbeitsprozessen erst in ca. 10 Jahren zu erwarten. Eine länderübergreifende Anforderung besteht in der Einführung eines Instandhaltungssystems, wobei bei der Auto-

Strategische Ziele	5 – 10 Jahre	20-30 Jahre
Umsetzung der BIM-Ziele des BMVI	X	
Einführung eines Instandhaltungssystems	X	
Erhöhung der IT-Sicherheit, Netzwerkstrukturierung	X	
Einheitliches Ticketsystems für Störungen zur Strukturierung und qualitativen Auswertung	X	
Zustandserfassung der betriebstechnischen Ausstattung (im Hinblick auf SIB-Bauwerke)	X	
Übersicht der Komponentenanfälligkeit	X	
Unterstützung bei der Nachrüstung von Straßentunneln (bspw. automatische Ermittlung von Nachrüstungsprogrammen)	X	X
Erfassung aller Bestandstunnel zur digitalen Bearbeitung	X	X

Tab. 3-3: Übersicht einzelner strategischer Ziele unter Berücksichtigung von BIM, zusammengefasst aus den Experteninterviews

bahndirektion Nordbayern explizit ein modulares FM-System als Zielstellung genannt wurde, welches ganzheitlich Aufgaben des Managements unterstützen soll. Aus den Experteninterviews geht diesbezüglich auch hervor, dass durch die Einführung solcher Systeme auch eine erhöhte Anforderung an die IT-Sicherheit besteht, welche im Zuge dessen ebenfalls verbessert werden muss. Ebenfalls länderübergreifend wurde ein System zur Zustandserfassung der betriebstechnischen Ausstattung benannt, welches in Anlehnung an die SIB-Bauwerke eine Übersicht hinsichtlich der Betriebstechnik ermöglicht (bspw. in Form eines Ampelsystems bei der Zustandsbewertung). Die Erfassung aller Bestandstunnel als digitale (BIM-)Bestandsmodelle wird grundlegend als langfristiges Ziel (ca. 20 bis 30 Jahre) betrachtet, welches sich am Nachrüstungskreislauf der Straßentunnel orientiert.

Des Weiteren wurde bezüglich der strategischen Ausrichtung in den Interviews auch gefragt, ob zukünftig die Fremdvergabe weiterer Leistungen geplant ist oder Leistungen wieder von den Verwaltungsbehörden übernommen werden sollen. Gemäß den Experteneinschätzungen kollidiert dabei die Übernahme von Leistungen, die vorher fremdvergeben waren, im Allgemeinen mit dem vorhandenen Personalmangel in den Verwaltungsbehörden. Dies gilt umso mehr für die Betriebstechnik, die je nach Straßentunnel sehr unterschiedlich sein kann, wodurch ggf. viel Personal vorgehalten werden müsste.

Überlegungen in Nordbayern, die Tunnelreinigung durch einen Dienstleister durchführen zu lassen, wurde aus Kostengründen nicht weiterverfolgt. Bei Straßen.NRW sollen hingegen kleinere Projekte wieder in Eigenleistung geplant werden. Ansätze bestehen auch zur Entwicklung und Implementierung einer Software zur Risikoanalyse von Straßentunneln nach Vorbild des standardisierten Ansatzes QRA-tunnels 2.0, welches in den Niederlanden zum Einsatz kommt. Zudem soll auch für die westfälischen Tunnel ein technischer Dienst eingeführt werden, der die Störungsbeseitigung übernehmen kann, so wie es bereits für Tunnel des Rheinlands gehandhabt wird.

3.2 Betriebliche Randbedingungen

Nachfolgend erfolgt eine Analyse einzelner Prozesse während der Betriebsphase von Straßentunnel bzw. der darin anfallenden Leistungen. Neben der

Erfassung des Zustands des Tunnelbauwerks im Rahmen der Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung liegt der Fokus insbesondere auf der Instandhaltung der betriebstechnischen Anlagen, der Überwachung sowie dem Notfallmanagement. Dabei werden die bisherigen Abläufe insbesondere hinsichtlich des Informationsmanagements und der durchzuführenden Leistungen analysiert. Zudem werden auch Möglichkeiten untersucht, bereits vorhandene Systeme zur Erhaltungsplanung bzw. Unterstützung des Betriebs mit einem BIM-Modell zu koppeln.

3.2.1 Bauwerksüberwachung und Bauwerksprüfung

Im Rahmen der Bauwerksüberwachung und Bauwerksprüfung wird der Zustand des Tunnelbauwerks überwacht bzw. relevante Informationen für die Erhaltung erfasst.

Die Bauwerksüberwachung umfasst sowohl Besichtigungen (jährlich) als auch laufende Beobachtungen (halbjährlich). Die Besichtigung erfolgt ohne größere externe Hilfsmittel und beinhaltet die Betrachtung von offensichtlichen Schäden oder Mängeln. Außergewöhnliche Ereignisse (bspw. Brand, schwerer Unfall) erfordern eine Besichtigung außerhalb der normativ geregelten Rhythmik. Laufende Beobachtungen sind im Zuge der Streckenkontrolle durchzuführen und werden durch in der Regel zweimal jährlich stattfindende Beobachtungen aller Bauteile ergänzt. Diese erfolgen von der Verkehrsebene aus ohne die Verwendung besonderer Hinweise. Grundsätzlich sind nur die erheblichen Schäden oder Mängel zu dokumentieren, welche auch die Verkehrs- oder Standsicherheit gefährden. [44]

Die Bauwerksprüfung setzt sich zusammen aus Hauptprüfungen und einfachen Prüfungen, wobei auch Prüfungen aus besonderem Anlass und Prüfungen nach besonderen Vorschriften je nach Bauwerkseigenschaften möglich sind. Hinsichtlich der Bauwerkserhaltung unterliegen die Hauptprüfung und die einfache Prüfung einem regelmäßigen Turnus. Die Hauptprüfungen sind jedes sechste Jahr durchzuführen, wobei die erste vor Abnahme des Bauwerks und die zweite vor Ablauf der Gewährleistungsfrist (i. d. R. 5 Jahre) zu erfolgen hat. Dabei müssen alle Bauwerksteile handnah geprüft werden. Die Leistungen umfassen dabei sowohl die allgemeine Prüfung der Tragfähigkeit des Bauwerks als auch u. a. die Untersuchung von [44]:

- Beschilderungen, u. a. hinsichtlich Tragfähigkeit, Durchfahrthöhe und -breite
- Gründungen, u. a. hinsichtlich Setzungen, Kippungen, Unterspülungen und Auskolkung
- Massiven Bauteilen, u. a. hinsichtlich Risse, Durchfeuchtungen, schadhafte Fugen,
- Stahl und anderen Metallkonstruktionen, u. a. hinsichtlich Risse und Verformungen
- Abdichtungen, u. a. hinsichtlich Undichtigkeiten und Beschädigungen
- Fahrbahnen, u. a. hinsichtlich Risse, Blasen, Undichtigkeiten
- Entwässerung, u. a. hinsichtlich Beschädigungen, Sauberkeit, ordnungsgemäßer Wasserabführung
- Wand- und Deckenverkleidung, u. a. hinsichtlich Risse, Verformungen, Korrosion

Die festgestellten Schäden und Mängel sind im Prüfbericht entsprechend zu dokumentieren, um dann entweder infolge einfacher Prüfungen weiter überprüft werden zu können oder ggf. Instandsetzungsmaßnahmen einzuleiten [44].

Einfache Prüfungen sind jeweils drei Jahre nach einer Hauptprüfung durchzuführen. Im Rahmen des-

sen wird das Bauwerk einer erweiterten Sichtprüfung unterzogen, die ohne Nutzung von Besichtigungsgeräte vollzogen werden kann. In dieser Prüfung müssen die in der Hauptprüfung vermerkten Mängel und Schäden geprüft werden. Wenn bei einer einfachen Prüfung erhebliche Schäden oder Mängel festgestellt werden, wird der Umfang der Prüfung auf den Umfang einer Hauptprüfung erweitert [44].

Prüfungen aus besonderem Anlass hingegen werden dann durchgeführt, wenn größere Ereignisse, die den Zustand beeinflussen, stattgefunden haben. Der Umfang der Prüfung wird je nach Anlass der Prüfung bestimmt. Durch eine Sonderprüfung kann keine Hauptprüfung oder einfache Prüfung ersetzt werden. [44].

Prüfungen nach besonderen Vorschriften beziehen sich bspw. auf die maschinellen und elektrischen Anlagen im Straßentunnel. Die Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung wird in Kapitel 3.2.2 detailliert analysiert. [44]. Anforderungen an die Erfassung bzw. Beschreibung von Schäden werden in der RI-EBW-PRÜF [45] definiert, welche im Rahmen der Betrachtung regulativer Randbedingungen genauer analysiert werden (siehe Kapitel 3.3). Grundsätzlich sollen die Daten bzw. Informationen resultierend aus der Bauwerksüberwachung

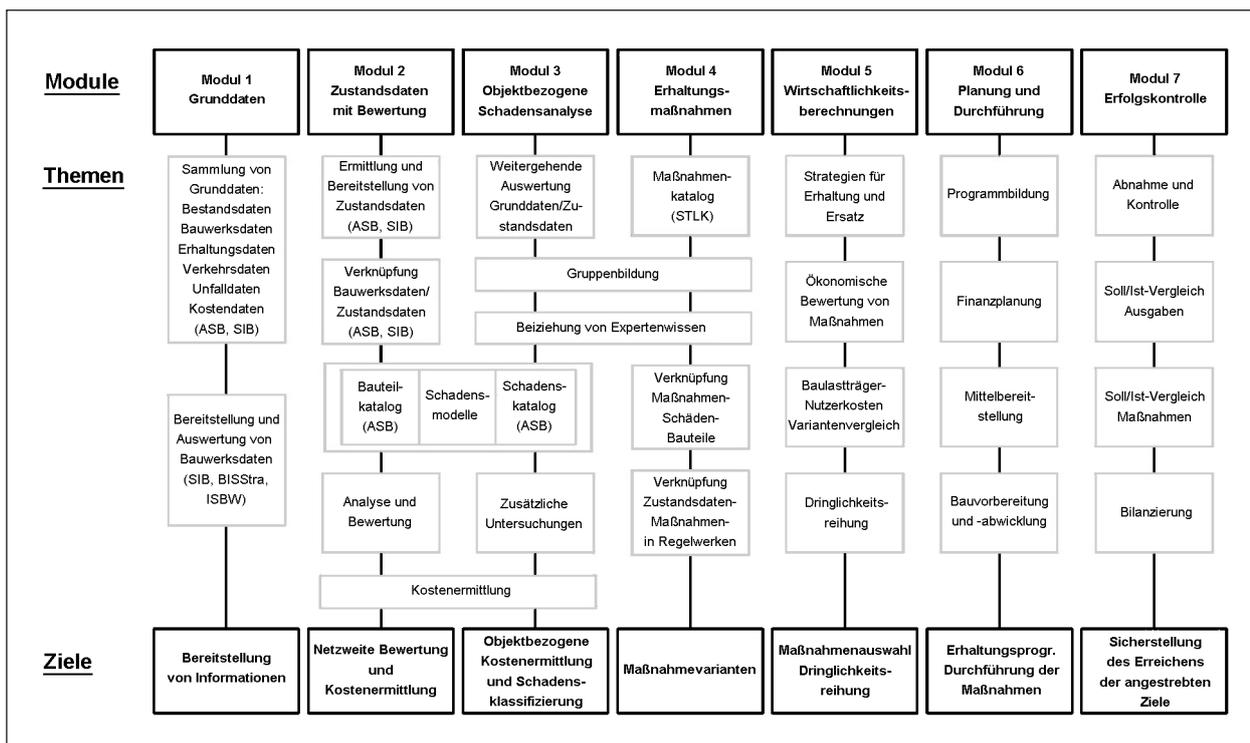


Bild 3-5: Modularer Aufbau des Bauwerks-Management-Systems zur Planung und Steuerung von Erhaltungsmaßnahmen [58]

und Bauwerksprüfung gemäß RI-EBW-PRÜF [45] mit dem Programmsystem SIB-Bauwerke erfasst, verwaltet und ausgewertet werden.

Die Daten des Programmsystems sind dann wiederum wesentliche Grundlage des Bauwerks-Managements-Systems, welches die Planung von Erhaltungsmaßnahmen unterstützen soll. [46]

3.2.2 Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung

In der RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24] werden Maßnahmen zur Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung beschrieben. Bild 3-6 zeigt eine Aufgliederung der Maßnahmen hin zu einzelnen Aktivitäten, die durchzuführen sind. Die Maßnahmen zur Wartung und Inspektion stellen grundsätzlich wiederkehrende Arbeiten innerhalb eines Zyklus dar, wodurch diese sich von

der Instandsetzung und Verbesserung unterscheiden. Instandsetzungs- und Verbesserungsmaßnahmen sind hingegen in der Regel Ergebnisse der Wartung und Inspektion und sind somit eng mit den entsprechenden Intervallen verknüpft.

Auf Grundlage der Vor-, Entwurfs-, und Ausführungsplanung in den Leistungsphasen 2, 3 bzw. 5 gemäß HOAI [59] durch die entsprechenden Fachplaner erfolgt in Leistungsphase 8 die Werks- und Montageplanung durch einen Dienstleister (i. d. R. Anlagenbauer). Diese umfasst die Erstellung von Plänen mit allen für den Einbau der Ausstattung erforderlichen Angaben, Montagehinweisen und Dokumenten. Dabei werden in der Regel vom Dienstleister bereits in der Planung mögliche Auswirkungen auf die Durchführung von Wartungsarbeiten untersucht. Als Beispiel hierfür wird die Anordnung von Lichtbändern genannt, die so erfolgt, dass die Beleuchtungsanlagen auch bei halbseitiger Tunnel-sperrung gewartet werden können, wodurch die

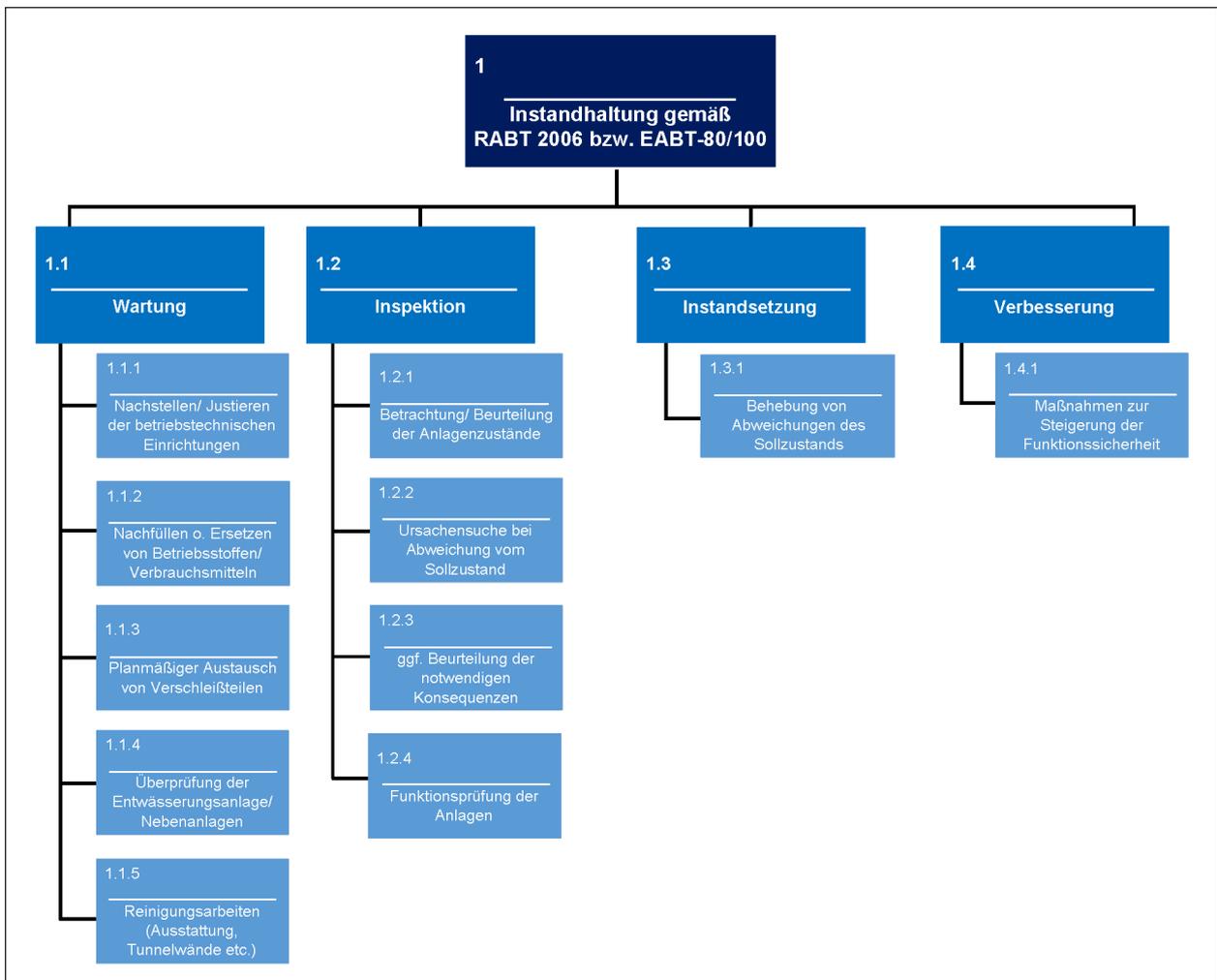


Bild 3-6: Aufgliederung der Maßnahmen zur Instandhaltung gemäß RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24]

Verfügbarkeit im Vergleich zu einer vollständigen Sperrung erhöht wird. Basierend auf der Werks- und Montageplanung wird der Tunnel ausgestattet (Einbau der betriebstechnischen Anlage) und nach Genehmigung (siehe RABT 2006, Abschnitt 1.1.6 [25]) unter Berücksichtigung der Sicherheitsdokumentation in Betrieb genommen. Dieses Verfahren ist auch im Zuge von Nachrüstungen (größere bauliche oder betriebliche Verbesserung) durchzuführen.

Die Wartung und Instandsetzung bzw. die Störungsbeseitigung im Rahmen der Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung wird größtenteils an den Dienstleister der Ausstattung fremdvergeben, wobei in einigen Bundesländern auch technische Dienste bzw. Meistereien kleinere Maßnahmen an ausgewählten Anlagen durchführen (bspw. Straßen.NRW, Niederlassung Krefeld, Niedersachsen und Bayern). Dabei ist zu beachten, dass Reinigungsarbeiten, die nicht die betriebstechnische Ausrüstung betreffen, entweder durch zuständige Meistereien durchgeführt werden (bspw. in Bayern) oder ggf. durch beauftragte Reinigungsfirmen.

Als Grund für die Fremdvergabe von Instandhaltungsmaßnahmen für die technische Ausstattung an denselben Dienstleister wird unter anderem angegeben, dass andere Wartungsfirmen aufgrund der Komplexität der betriebstechnischen Anlagen die anstehenden Aufgaben nicht in einem angemessenen und hinsichtlich der Anforderung an die Verfügbarkeit erforderlichen Zeitrahmen durchführen können. Innerhalb der ersten fünf Jahre werden durch die Fremdvergabe der Instandhaltungsmaßnahmen an den Ausstatter zudem die Gewährleistungsansprüche bewahrt.

In den Instandhaltungsverträgen werden zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer die zu erbringenden Leistungen festgelegt. Maßgeblich beeinflusst von der föderalistischen Struktur unterscheiden sich die Vorgehensweisen und Inhalte zwischen den Ländern, wobei gemäß RABT 2006 bzw. EABT-80/100 grundsätzlich die Empfehlungen eines Muster-Wartungsvertrages des BMVI zu berücksichtigen sind.

Basierend auf der Empfehlung gemäß RABT 2006 [25] beträgt die Dauer der Instandhaltungsverträge i. d. R. 5 Jahre, wodurch potenziellen Konflikten zwischen Instandhaltung und Gewährleistung vorgebeugt werden soll. Falls der Vertrag nicht fristgerecht gekündigt wird, verlängert dieser sich automa-

tisch entsprechend der Laufzeit. Gründe zur Kündigung auf der Seite des Auftraggebers sind unter anderem bevorstehende Nachrüstungsarbeiten oder Unzufriedenheit bezüglich der erbrachten Leistung, während auf der Seite des Auftragnehmers ggf. durch die Reduzierung des Leistungsumfangs (bspw. infolge abgekündigter und von anderen Firmen neu eingebauten Anlagen) die Durchführung der Leistungen nicht mehr wirtschaftlich ist. Im Allgemeinen sind gemäß Aussagen der Tunnelbetreiber und der Dienstleister eine Kündigung selten, führt jedoch dann oftmals zu einem erhöhten Mehraufwand aufgrund fehlender Unterlagen bzw. Informationen.

In §10 des Fernstraßen-Überleitungsgesetz FernstrÜG [60] wird festgelegt, dass der Bund bzw. die Autobahn GmbH die Rechte und Pflichten übernimmt, die aus den bestehenden Vertragsverhältnissen der Länder mit Dritten zur Wahrnehmung der Aufgaben der Straßenbaulast bestehen. Dies ist verknüpft an die Bedingung, dass die Vergabe rechtlich korrekt erfolgt und die anfallenden Kosten marktüblich sind. Somit bleibt die Vorgehensweise zur Wartung auch zukünftig – zumindest vorerst – für Bundesautobahnen bestehen.

Nachfolgend wird auf Grundlage vorliegender Dokumente aus der Praxis sowie den Informationen aus den Experteninterviews die Ausführung der jeweiligen Leistungen beschrieben:

- **Wartung**

Die zu erbringende Leistung im Rahmen der Wartung werden in Anlehnung an die RABT 2006 bzw. EABT-80/100 (siehe Bild 3-6) vertraglich über beiliegende Arbeitskarten festgelegt. Diese beschreiben für die einzelnen Gewerke den jeweiligen Arbeitsumfang, der sich in der Regel folgendermaßen zusammensetzt:

- Generelle Sichtprüfung
- Reinigung der Anlage
- Sichtkontrollen einzelner Anlagenteile
- Funktionskontrollen/Prüfungen
- Inspektion und Wartung nach Herstellerangaben
- Ggf. Vorschläge für notwendige Instandsetzungsmaßnahmen

Die Analyse vorliegender Arbeitskarten zeigt deutliche Unterschiede insbesondere hinsichtlich des Umfangs der Leistungsbeschreibung,

die aus der Beauftragung unterschiedlicher Ingenieurbüros zur Erstellung der Arbeitskarten resultieren. Um die Leistungen genauer zu spezifizieren und somit Unterschiede bei der Wartung von Straßentunneln zu reduzieren, hat z. B. Straßen.NRW, initiiert durch die Autobahnniederlassung Hamm Standard-Arbeitskarten für den Zuständigkeitsbereich Westfalen entwickelt, welche anschließend von der Niederlassung Krefeld für den rheinländischen Bereich abgeglichen und für ganz NRW standardisiert wurden. Diese Karten finden nun bei allen Neuausschreibungen in NRW Anwendung.

Neben der Beschreibung des Arbeitsumfangs sind gemäß RABT 2006 [25] auch die Wartungsintervalle festzulegen, die gemäß EABT-80/100 aus Vorschriften, Herstellerangaben (resultierend aus den technischen Anforderungen der Hersteller) und Erfahrungswerten abzuleiten sind. Grundsätzlich gibt das Merkblatt zur Kontrolle, Wartung und Prüfung von Straßentunneln (M KWPT) [26] Orientierungswerte für den zeitlichen Zyklus an und beschreibt zudem den erforderlichen Aufgabenumfang zur Wartung (und Pflege). Tabelle 3-4 zeigt beispielhaft für die Beleuchtung, die Lüftung und das Lüftungssystem die Orientierungswerte gemäß M KWPT [26].

Sowohl aus der Analyse der Wartungszyklen gemäß M KWPT [26] als auch aus den Experteninterviews wird deutlich, dass größere Wartungsmaßnahmen halbjährlich stattfinden. Die Wartung von Brandmeldeeinrichtungen erfolgt vierteljährlich, was aus den besonders hohen Anforderungen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Sicherheit der Tunnelnutzer abzuleiten ist. Betriebsgebäude und die Energieversorgung (mit

Ausnahme der Unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) um Totalausfälle zu vermeiden) werden jährlich gewartet. In Anlehnung an die erfassten strategischen Ziele in Kapitel 3.1 sind im Zuge der planmäßigen Wartung auch weitere Arbeiten zu koppeln (bspw. Bauwerksprüfung, Inspektion der betriebstechnischen Ausstattung), ohne dass jedoch Behinderung und Gefährdungen auftreten.

In der Regel sind an den Auftraggeber neben den Arbeitskarten zur Erfassung der Art und des Umfangs der Wartung die Feststellungen bezüglich des Anlagenzustands und ggf. absehbare Instandsetzungsmaßnahmen in Form eines Arbeitsberichts (bzw. Wartungsbericht) abzugeben. Zudem sind Protokolle einzelner Messungen im Zuge der Wartung einzureichen. Zu weiteren Vertragsunterlagen, die in der Regel vom Auftragnehmer einzureichen sind, gehören ebenfalls die Bestandskarten zu den einzelnen Anlagen bzw. Anlagenteilen, u. a. mit Angaben zum Standort, Typ und Geräte-Nr. Daraus sind zur Übersicht entsprechende Bestandslisten abzuleiten (in der Regel digital (z. B. als CSV-Datei) und als Ausdruck). Darüber hinaus sind alle Kontrollen, Überprüfungen und Eingriffe mit Angabe von Datum, Uhrzeit sowie Name des ausführenden Wartungspersonals im Betriebsbuch (befindet sich in der Regel im Betriebsgebäude) einzutragen.

- Störungsbeseitigung und Instandsetzung

Durch die Instandhaltungsverträge ist in der Regel auch die Störungsbeseitigung seitens der Wartungsfirmen geregelt, wobei vereinzelt Sofortmaßnahmen durch technische Dienste

Abschnitt RABT		Anlage/Anlagenteil	Wartung, Funktionsprüfung [pro Jahr]	Reinigung [pro Jahr]
6	Beleuchtung	Tunnelbeleuchtung	2	In Wartung enthalten
6	Beleuchtung	Leuchtdichtekameras	2	2
7	Lüftung	Strahl-/Axialventilatoren	2	1
7	Lüftung	Steuerbare Absaugöffnungen	2	Nach Bedarf
7	Lüftung	Strömungsmessungen	2	In Wartung enthalten
7.4	Lüftungssystem	CO-Messung	2	In Wartung enthalten
7.4	Lüftungssystem	Rauchansaugsystem	2	In Wartung enthalten
7.4	Lüftungssystem	Sichttrübungsmessung	2	In Wartung enthalten

Tab. 3-4: Angabe zum Umfang von Kontrolle, Wartung und Pflege an der Technischen Ausstattung (hier beispielhaft Beleuchtung, Lüftung und Lüftungssystem) gemäß M KWPT [26]

durchgeführt werden, die der Verwaltungsbehörde entsprechend angegliedert sind. Dabei wird generell zwischen Störungen mit unmittelbarer Gefährdung des Verkehrs, der Sicherheit bzw. des Betriebs der Anlagen (1) sowie sonstige Störungen (2) unterschieden. Aus der Einteilung von Störungsarten resultieren auch Anforderungen an den Auftragnehmer bezüglich des ersten Montageeinsatzes, welcher bei Störungen des Typ 1 (hohe Priorität) grundsätzlich deutlich schneller zu erfolgen hat. Im Vertrag festgelegte Vorgaben bezüglich Reaktionszeiten auf Störungen hängen dabei auch von der jeweiligen Organisationsform ab (bspw. Bereitschaftsdienste, technische Dienste, Kompetenzen der Meistereien).

Es können grundsätzlich drei Kommunikationswege bezüglich einer erforderlichen Störungsbeseitigung unterschieden werden:

1. Es erfolgt eine automatisierte Erfassung des aktuellen Zustands der betriebstechnischen Anlagen durch die Leittechnik. Dabei findet ein direkter Informationsaustausch über den Zustand der Anlagen mit den Operatoren der Tunnelbetriebsstelle statt.
2. Störungen und Schäden werden durch planmäßige Wartungsarbeiten festgestellt und vom Wartungspersonal entsprechend kommuniziert (bspw. über die Arbeitskarten).
3. Dritte Personen (bspw. Tunnelnutzer, Polizeieinsatzdienste, Streckenwarte) informieren über verbale Kommunikationswege, dass eventuell Störungen oder Schäden an der Betriebstechnik vorliegen.

Die Instandsetzung von betriebstechnischen Anlagen infolge von Störungen erfolgt grundsätzlich nach Aufforderung durch den Auftraggeber.

In der Praxis werden teilweise auch Ticketsysteme zur Abarbeitung von Störungen und Instandsetzungsmaßnahmen angewendet:

In den Tunnelbetriebsstellen von NRW (Hamm und Krefeld) werden bspw. alle Informationen aus den drei grundsätzlichen Kommunikationswegen in einem Einsatzleitsystem zusammengefasst (sowohl Ereignisse als auch Störungen und Schäden) und mit einer Ticketnummer versehen. Damit wird der Vorfall durch die Tunnelbetriebsstelle dokumentiert und kann dann je nach Priorität abgearbeitet werden.

Der Dienstleister OSMO-Anlagenbau verwendet unter anderem für das Störungsmanagement, aber auch die Personaleinsatzplanung, das Programm ES Office. Informationen über Schäden bzw. Störungen der betriebstechnischen Anlagen werden mit den relevanten Daten in Form eines Servicetickets angelegt. Die Relevanz der einzelnen Tickets wird durch eine farbliche Kennzeichnung dargestellt. Oftmals werden im Zuge der Wartung auch Absprachen mit dem Tunnelbetreiber getroffen, die ebenfalls als Ticket hinterlegt werden. Sobald eine Aufgabe abgearbeitet wurde, wird das Serviceticket als erledigt gekennzeichnet.

Ein wesentlicher Kritikpunkt bezüglich der bisherigen Umsetzung von Ticketsystemen ist, dass die Schnittstelle zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer in der Regel noch nicht ausgereift ist und eine stärkere digitale Vernetzung erfordert. Durch den erhöhten Kommunikationsaufwand ist die Abarbeitung auf Grundlage des Ticketsystems aufgrund der oftmals großen Anzahl an Störungen derzeit noch sehr zeitintensiv. Zudem kann es zu Unklarheiten aufgrund Verantwortlichkeiten bzw. durchgeführter Arbeiten kommen.

In Bayern (in Kooperation zwischen Autobahndirektion Nordbayern und Autobahndirektion Südbayern) befindet sich ein Ticketsystem als Modulbestandteil eines ganzheitlichen Facility Management-Systems derzeit in der Startphase.

- Sicherung der Arbeitsstellen/Arbeitssicherheit

Für Arbeiten innerhalb des Tunnels ist in der Regel vertraglich vereinbart, dass die „Richtlinien für die Sicherung Arbeitsstellen an Straßen“ (RSA) [61] zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus sind auch die ASR A5.2 [62] zu berücksichtigen, welche Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr beschreiben.

Aus organisatorischer Sicht sind im Vorfeld durch den Sicherheitsbeauftragten Unterlagen mit Angaben zu Sicherheit und Gesundheitsschutz bezüglich der Arbeiten im Tunnel zusammenzustellen. Diese Unterlagen dienen wiederum als Grundlage für eine spezifische Gefährdungsanalyse, welche als Grundlage zur Festlegung der erforderlichen Maßnahmen für das eingesetzte Personal verwendet wird. Dieses Vor-

gehen entspricht den Anforderungen gemäß „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen“ (BaustellV) [63]. Zusätzlich ist die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [64] bezüglich der Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln, der Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und der grundlegenden Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes zu beachten. [26]

Organisation der Instandhaltungsmaßnahmen

Hinweise zur Organisation der Arbeiten zur Instandhaltung werden im M KWPT [26] gegeben, basierend auf dem „Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen“ [65]. Übergeordnete Ziele sind dabei die grundlegende Gewährleistung der Verkehrs- und Betriebssicherheit unter Berücksichtigung der Arbeitssicherheit sowie die Reduzierung von Auswirkungen durch Beschränkungen der Verfügbarkeit. Die Instandhaltungsmaßnahmen für einen Großteil der betriebstechnischen Anlagen bei Straßentunneln sind dabei i. d. R. infolge von Teil- bzw. Vollsperrungen durchzuführen. Dabei ist darauf zu achten, dass diese zu verkehrsschwachen Zeiten (bspw. Nachtstunden, Ferienzeiten) stattfinden.

Grundsätzlich sind über sämtliche Arbeiten (planmäßig oder Instandsetzung infolge der Störungsbehebung) im Tunnel die jeweiligen Betriebsstellen zu informieren. Im Rahmen der Sicherheitsdokumentation gemäß RABT 2006 bzw. EABT-80/100 sind durch den Sicherheitsbeauftragten diesbezüglich die Organisationsform und der Einsatz von Personal und Material in Form eines Betriebskonzeptes zu beschreiben. Dies umfasst auch Anweisungen vom Tunnelmanager und kann um weitere konkrete Anweisungen für das Wartungspersonal ergänzt werden (bspw. Waschabstände, Vorgehensweisen) [26]. Geplante Wartungsmaßnahmen infolge der angesetzten Zyklen sind durch den zuständigen Tunnelmanager unter Berücksichtigung verkehrsschwacher Zeiten und nach interner Abstimmung in einer Jahresübersicht festzulegen. Auf Grundlage dessen findet eine endgültige Abstimmung vor Veröffentlichung mit den weiteren Akteuren (siehe Kapitel 3.1) statt. Durch den erheblichen Einschnitt in die Verkehrsführung ist zudem zur Schaffung einer höheren Akzeptanz bei den Verkehrsteilnehmern entsprechende Öffentlichkeitsarbeit zu leisten. Dazu zählt unter anderem die rechtzeitige und angemessene Bekanntmachung der

Sperrungen durch den Einsatz von Medien, sowie die Empfehlung von Ausweichrouten. [26]

Die Durchführung von größeren, planmäßigen Wartungsarbeiten führt in der Regel zu erheblichen Beeinträchtigungen des Verkehrs aufgrund notwendiger Teil- oder Vollsperrungen. Für Richtungsverkehrstunnel besteht auch die Möglichkeit, während der Arbeiten einen Gegenverkehrsbetrieb in der nicht gesperrten Röhre vorzusehen, soweit die betriebstechnische Ausstattung wie bspw. die Gegenadaption vorhanden ist. Diesbezüglich sind jedoch im Vorfeld entsprechende Abwägung durchzuführen, insbesondere unter Berücksichtigung eventueller Umfahrestrecken (z. B. Risikoanalyse für einröhrigen Betrieb). Eine weitere Möglichkeit ist die Sperrung einzelner Fahrspuren in einer Tunnelröhre, wodurch jedoch erhöhte Anforderungen an die Arbeitssicherheit des Einsatzpersonal entstehen (siehe oben).

Vergütung der Leistungen/Kostenstrukturen

Die Initialkosten eines Bauwerks basieren auf den Planungskosten und den Ausstattungskosten des Tunnels. Der Auftragnehmer gibt mit Bezug auf das vom Auftraggeber erstellte Leistungsverzeichnis ein Angebot ab. Dabei werden auf Grundlage der Anzahl und der angegebenen Einheiten (je nach Position stückweise, pauschal, mengen- oder längenbasiert) Gesamtpreise für die jeweiligen Anlagengruppen gemäß HOAI [59] bzw. einzelner Anlagenteile ermittelt. Die Ergebnisse aus einem vorherigen Projekt (FE 15.0577/2012/FRB „Verfahren für Kostenansätze von Straßentunnel“ [32]) zeigen, dass die im Zuge der Planung bzw. Ausschreibung erstellten Leistungsverzeichnisse sowohl zum Teil projektweise als auch länderübergreifend signifikante Unterschiede in ihrer Struktur aufweisen. Beispiele hierfür sind unter anderem die unterschiedliche Zuordnung von Objekten zu einzelnen Positionen, Detaillierungstiefen bei der Aufschlüsselung der Kostenpositionen sowie abweichende Bezeichnungen bzw. Klassifizierungen. Insbesondere hinsichtlich einer Lebenszykluskostenanalyse erschwert dies den Vergleich einzelner betriebstechnischer Anlagen verschiedener Tunnelbauwerke. Im Rahmen der Experteninterviews wurde unter anderem darauf hingewiesen, dass eine feingliedrige Verknüpfung von Kosten mit einzelnen Objektgruppen bspw. in Anlehnung an die Einteilung nach RABT 2006 [25] durch die Vorgaben jeweiliger Anlagengruppen für die technische Ausstattung der HOAI (siehe §53 [59]) gemäß HOAI, derzeit kaum umsetzbar ist.

Im Projekt [32] wurde deshalb zum bauwerksübergreifenden Vergleich der Kosten der betriebstechnischen Ausstattung ein Standard-Leistungsverzeichnis entwickelt, welches auf mehreren Ausschreibungen aus der Praxis basiert. Eine ausführliche Beschreibung des Projektes ist in Kapitel 2.3.3 enthalten. Grundsätzlich ergeben sich hier auch Anhaltspunkte bezüglich der Entwicklung einer Struktur bzw. einer Klassifizierung der betriebstechnischen Ausstattung für ein BIM-Modell.

Bei den Folgekosten resultierend aus der Instandhaltung ist zwischen den im Instandhaltungsvertrag festgelegten Wartungskosten, den Instandsetzungskosten (generell auch durch Instandhaltungsvertrag geregelt) sowie den Betriebskosten durch eigenes Personal (bspw. technische Dienste, Meistereien) zu unterscheiden:

- Pauschale Kosten für Wartung und Störungsbereitschaft

Arbeiten bzw. Leistungen die im Rahmen der regelmäßigen Wartung bzw. Störungsbeseitigung anfallen, werden in der Regel durch eine Wartungskostenpauschale im Instandhaltungsvertrag geregelt. Grundsätzlich beinhaltet dies je nach Vereinbarung die Inspektion und Wartung der Anlage, Austausch von Teilen und Altteilentsorgung zur Gewährleistung der einwandfreien Funktion und Betriebssicherheit, das Vorhalten von benötigten Hilfsmitteln sowie die Fortschreibung und Ergänzung der Dokumentation. Die Kosten für Verschleiß- und Ersatzteile sind nach Ablauf der Gewährleistung von 5 Jahre zusätzlich einzurechnen. Dabei wird in der Regel eine Obergrenze festgelegt, bei der aber zum Einbau eine Zustimmung des Auftraggebers einzuholen ist.

Die Abrechnung erfolgt nach Übermittlung der Rechnung mit dem jeweiligen Wartungsbericht (u. a. Arbeitskarten etc.).

- Instandsetzungskosten

Instandsetzungsmaßnahmen von Schäden durch äußere Einwirkungen (bspw. höhere Gewalt) werden nicht durch die Pauschale abgedeckt und sind gesondert zu vergüten. Die Arbeitszeiten werden durch einen Wartungsbericht erfasst und gemäß im Vertrag vereinbarten Stundenlöhnen nach Anerkennung durch den Auftraggeber abgerechnet. Kosten für An- und Abfahrt bzw. Übernachtungen werden grund-

sätzlich ebenfalls über eine Fahrtkostenpauschale vergütet. Auftretende Materialkosten (inklusive Betriebsmittelzuschlag) werden entweder durch genehmigte Preislisten oder nach Aufwand in Form einer Fremdrechnung abgerechnet.

- Betriebskosten

Leistungen, die durch die zuständigen Meistereien durchgeführt werden (bspw. Kontrollen, Reinigungen etc.), werden über eine von den Meistereien eingereichten Betriebskostenrechnung vergütet.

3.2.3 Überwachung des Tunnelbetriebs

Zur Gewährleistung eines störungsfreien Betriebs sowie der schnellen Auslösung von Maßnahmen im Ereignisfall sind alle Straßentunnel mit einer Länge ab 400 m gemäß RABT 2006 [25] bzw. EABT-80/100 [24] von einer ständig besetzten Tunnelbetriebsstelle zu überwachen. Dabei steht die betriebstechnische und sicherheitstechnische Überwachung zur Gefahrenabwehr im Vordergrund.

Um die Aufgaben entsprechend durchzuführen, wird die Betriebsstelle durch ein Instrumentarium unterstützt (u. a. SCADA-Systeme), um auf der einen Seite aktuelle Informationen über Betriebs- und Störmeldungen zu erhalten und im Notfall einzelne Anlagen ggf. mittels Handbetriebes über die Leittechnik zu steuern.

Zusätzlich ist die Betriebsstelle mit einer ereignisorientierten Videoüberwachung zu unterstützen, um im Fall von Ereignissen, die einen Eingriff bzw. die Umsetzung oder die Aufhebung von Maßnahmen erforderlich machen, eine visuelle Überprüfung zu ermöglichen. Eine weitere Anforderung ist die Möglichkeit zur Aufnahme von Videobildern vom betroffenen Tunnel im Ereignisfall, um im Nachgang ggf. Analysen durchführen zu können. [24,25]

In Bild 3-7 ist der schematische Ablauf der Überwachung von Straßentunnel dargestellt. Auf der Feldebene werden durch die im Tunnel verbaute Sensorik sowohl Verkehrsdaten und Verkehrszustände als auch Auslöser, Warnwerte, Grenzwerte und Störungen (Automatisierungsebene) erfasst. Die Verkehrssteuerung (bspw. infolge von zähfließendem Verkehr) erfolgt in der Regel automatisch auf Grundlage der Verkehrsanalyse. Maßnahmen infolge anderer Ereignisse, die auf der Automatisierungsebe-

ne identifiziert werden, sind entweder entsprechend der Vorgaben einer im Vorfeld erarbeiteten Wirkmatrix zu ergreifen (automatisch, halbautomatisch) oder manuell von den Operatoren zu bestimmen und durchzuführen bzw. zu begleiten. Neben den Systeminformationen, basierend auf den Daten direkt aus dem Tunnel, kann der Operator auch durch Hinweise der Tunnelnutzer oder durch eine manuelle Ereignisdetektion aufgrund der geschalteten Videoüberwachung entsprechend über Ereignisse bzw. Störungen im Tunnel informiert werden. [24,25]

Grundsätzlich ergeben sich gemäß RABT 2006 [25] bzw. EABT-80/100 [24] zusammenfassend folgende Aufgaben im Rahmen der Überwachung des Tunnelbetriebs:

- Überwachung des Straßentunnels (Verkehrsraum und sämtliche Fluchtwege durch ein Videosystem, dessen Bilder zentral aufgeschaltet werden,

- Möglichkeit zum manuellen Eingreifen über die Leittechnik im Stör- bzw. Ereignisfall,
- Monitoring der Funktion und Verfügbarkeit von Systemen,
- Störfallmanagement (Erkennen, Maßnahmen-einleitung, abschließende Beseitigung),
- Möglichkeit der Anpassung von Systemen auf Grundlage der betrieblichen Erfahrung (bspw. durch Parametereinstellungen),
- Austausch mit anderen Organisationseinheiten über Erfahrung aus der Überwachung und entsprechende Dokumentation,
- Datenauswertung (bspw. Energieverbrauch, Betriebsstunden) und ggf. Identifizierung von fehlerbehafteten Systemen.

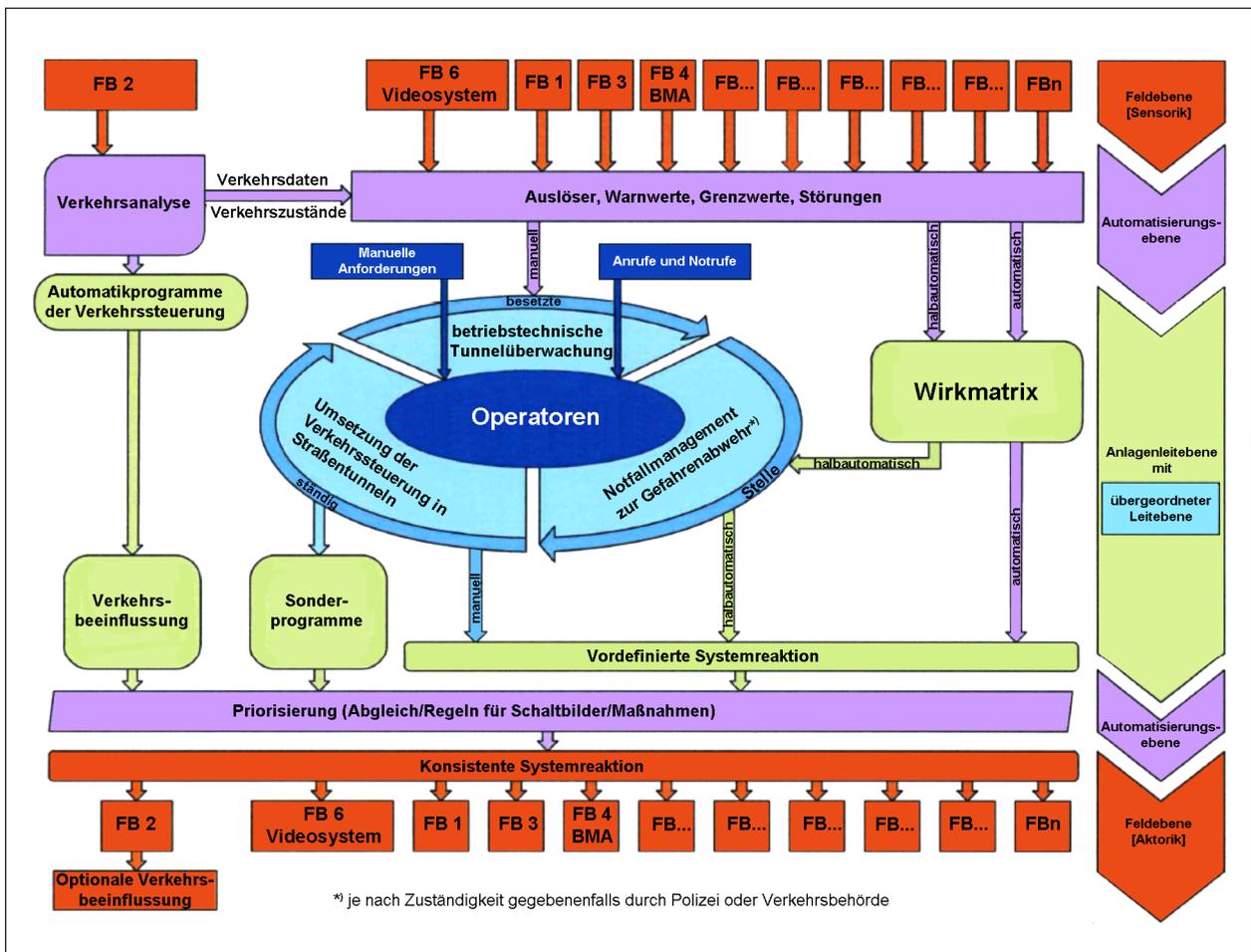


Bild 3-7: Schema zur Überwachung von Straßentunnel durch eine ständig besetzte Stelle [24]

3.2.4 Notfallmanagement

In der RABT 2006 [25] bzw. den EABT-80/100 [24] wird das Notfallmanagement als Maßnahme zur Gewährleistung der Personensicherheit im Straßentunnel während eines Ereignisses (bspw. Brand) beschrieben. Grundsätzlich werden folgende Anforderungen an die Ereignisbewältigung gestellt:

- Kurze Detektionszeiten und schnelle Einleitung von Maßnahmen (bspw. Starten des Notfallprogramms der Lüfter)
- Direkte Alarmierung der Einsatzdienste
- Informieren der Tunnelnutzer bzw. gefährdeten Personen
- Starten von Evakuierungsmaßnahmen

Gemäß den Empfehlungen für Betriebs- und Einsatzdienste zum „Ereignismanagement für Straßentunnel“ [66] beinhaltet ein ganzheitlicher Ansatz zur Bewältigung die Berücksichtigung von vier Phasen.

Die präventiven Maßnahmen (1) beschreiben alle Schritte, die im Vorfeld ergriffen werden, um ein Ereignis zu verhindern oder die Eintrittswahrscheinlichkeit zu verringern. Diese umfassen bspw. organisatorische, planerische und betriebliche Vorkehrungen wie bspw. die Beschränkung von Gefahrguttransporten und die Anbringung einer entsprechenden Beschilderung.

Vorbereitende Maßnahmen (2) werden durchgeführt um den Schaden im Ereignisfall so gering wie möglich zu halten.

Zu weiteren Maßnahmen (3) zählen auch die Öffentlichkeitsarbeit in Form von Informationsbroschüren für Tunnelnutzer zum richtigen Verhalten im Ereignisfall (siehe Informationsbroschüre BAST [67]) sowie Verhaltenstraining für bestimmte Berufsgruppen (z. B. LKW- oder Busfahrer).

Die Ereignisbewältigung (4) umfasst Maßnahmen zur Unterstützung während des Notfalls. Dazu zählen die Detektion von Ereignissen durch Systeme oder Tunnelnutzer (via Notrufeinrichtungen) sowie die Unterstützung der Operatoren bspw. durch computergestützte Führung zur Einleitung von Maßnahmen auf Grundlage der AGAPs. [66].

Im Rahmen der Nachbereitung von Ereignissen, die eine erhebliche Störung des Tunnelbetriebs verursachen, ist gemäß RABT 2006 bzw. EABT-80/100

vom Tunnelmanager jeweils ein Bericht zu erstellen, der innerhalb eines Monats an den Sicherheitsbeauftragten, die Landesbehörde und die Einsatzdienste zu versenden ist. Zudem können ergänzende Untersuchungsberichte mit einer Unfallanalyse und entsprechenden Schlussfolgerungen angefertigt werden (bspw. durch Beauftragung eines externen Gutachters). Dieser Bericht ist vom Tunnelmanager einen Monat nach Erhalt an die oben genannten Akteure zu senden. Im Zuge dessen sind von der zuständigen Verwaltungsbehörde jährlich Berichte über Brände und Unfälle an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zu senden. Diese sollen auch eine Auswertung und Analyse hinsichtlich der Wirksamkeit von Sicherheitseinrichtungen und -maßnahmen beinhaltet. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe [66] empfiehlt zudem eine Nachbereitung in Form von intensiven Einsatzauswertungen, um Prozesse für zukünftige Ereignisse zu optimieren. Zu den empfohlenen Maßnahmen zählen unter anderem eine Betroffenenbefragung nach Einsätzen sowie der Austausch von Erfahrungen in Workshops aber auch ein medialer Austausch durch Fachpublikationen.

Neben der Analyse auf organisatorischer Ebene sind auch die Folgen bzw. Auswirkungen auf das Tunnelbauwerk und die betriebstechnische Ausstattung direkt vor Ort zu untersuchen. Nach Unfällen finden dazu in der Regel im Bereich der Brandstelle Inspektionen zur Untersuchung der konstruktiven Elemente des Tunnelbauwerks (u. a. hinsichtlich Tragfähigkeit) bzw. zur Begutachtung und Prüfung der in der Nähe befindlichen betriebstechnischen Ausstattung (u. a. hinsichtlich Funktionsfähigkeit) statt. Ggf. sind Instandsetzungsmaßnahmen einzuleiten oder als Ergebnis der oben beschriebenen organisatorischen Maßnahmen Verbesserungen durchzuführen. Dadurch kann infolge von wesentlichen Änderungen ein neuer Vorgang zur Genehmigung der Wiederinbetriebnahme ausgelöst werden. Ein Einfluss auf die Wartung besitzen Brand- bzw. Unfallereignisse generell nicht.

3.3 Regulative Randbedingungen

Anforderungen an ein (BIM-)Betriebsmodell zur Unterstützung betrieblicher Abläufe können zudem aus den gültigen Regelwerken, Richtlinien und Empfehlungen abgeleitet werden. Diese umfassen unter anderem:

- 1) Anforderungen an die Umsetzung bzw. an die für den Straßentunnelbetrieb zu erbringenden Leistungen zur Identifizierung potenzieller BIM-Anwendungsfälle hinsichtlich der Optimierung der Betriebsprozesse
- 2) Anforderungen an die Erfassung und Strukturierung von Informationen (Daten), bspw. Bauwerksdaten, Zustandsdaten etc.
- 3) Anforderungen an die Dokumentation, insbesondere bezüglich der Ausführungs- und Bestandsunterlagen

Zwecks systematischer Untersuchung der aus den regulativen Randbedingungen resultierenden Anforderungen werden zwei Ebenen betrachtet. Übergeordnet werden die Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen in Anlehnung an die Einteilung der Lebenszyklusphasen eines Straßentunnels gemäß DAUB-Empfehlung (siehe auch Kapitel 2.2) hinsichtlich administrativer, bautechnischer, betriebstechnischer und erhaltungstechnischer Anforderungen betrachtet.

Auf der unteren Ebene werden die Informationsanforderungen in Anlehnung an die DIN EN ISO 19650-1 [Quelle] in strukturierte (bspw. Datenbanken) und unstrukturierte Informationen (bspw. Dokumente) eingeteilt.

Tabelle 3-5 gibt eine Übersicht über Vorschriften und Empfehlungen, die im Rahmen des Forschungsprojekts hinsichtlich der Anforderungen an ein (BIM-)Betriebsmodell untersucht wurden.

Die nachfolgende Analyse beschreibt die ermittelten Anforderungen zusammenfassend. Eine detaillierte Übersicht mit spezifischen Informationsinhalten

der einzelnen Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen ist in Anhang 1 enthalten.

3.3.1 Administrative Anforderungen

In Kapitel 3.1.2 werden die administrativen Anforderungen hinsichtlich der regulativ festgelegten Leistungen für die Betriebsphase differenziert nach Tunnelbauwerk und Tunnelausstattung zusammengefasst. Grundsätzlich sind administrative Projekt- und Bestandsinformationen eng mit den jeweiligen Prozessen (Ausführung, Erhaltung und Betrieb) verknüpft.

Übergeordnet sind die Informationen gemäß „Anweisung Straßeninformationsbank – Segment Bauwerksdaten“ (ASB-ING) [6] zu erfassen, welche die Verwaltung und Erfassung aller Bauwerksdaten von Infrastrukturbauwerken in der Straßenbaulast des Bundes bzw. der Länder (siehe auch Kapitel 3.1.1) regelt und vereinheitlicht. Diese umfassen Verwaltungs-, Prüfungs-, Zustands-, Konstruktions- und Sachverhaltsdaten sowie die Ablage von digitalen Unterlagen.

Die Grundlage zur Erfassung der Bauwerksdaten bildet das von der ASB-ING beschriebene Ordnungssystem. Demnach wird jedem Bauwerk eine 7-stellige Bauwerksnummer zugeordnet bzw. falls es aus mehreren Teilbauwerken besteht, bekommt jedes Teilbauwerk ebenfalls eine zusätzliche Teilbauwerksnummer. Alle Bauwerksdaten werden dann über Tabellen diesen Bauwerks- oder Teilbauwerksnummern zugeordnet. Dies geschieht über 15-stellige Ziffern, deren Kodierung eindeutig definiert ist.

Vorschriften und Empfehlungen
EABT-80/100 – Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h (Ausgabe 2019) [24]
RABT 2006 – Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln [25]
M KWPT – Merkblatt für die Kontrolle, Wartung und Pflege von Straßentunneln (Ausgabe 2015) [26]
ZTV-ING – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – Teil 1 Allgemeines (Ausgabe 2012) [68]
ZTV-ING – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – Teil 5 Tunnelbau (Ausgabe 2012) [69]
DIN 1076: 1999-11 – Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung (Ausgabe 1999) [44]
ASB-ING_neu – Anweisung Straßeninformationsbank (noch nicht veröffentlicht) [70]
RI-EBW-PRÜF – Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (Ausgabe 2007) [45]
RI-BWD-TU – Richtlinien für Bergwasserdränagesysteme von Straßentunneln (Ausgabe 2007) [47]

Tab. 3-5: Übersicht der untersuchten Vorschriften und Empfehlungen

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die ASB-ING ein Teilsystem für Ingenieurbauwerke darstellt. Aufgrund des Forschungsgegenstands mit Bezug auf die Entwicklung eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements für Straßentunnel werden weitere Teilsysteme an dieser Stelle nicht betrachtet.

Aktuell findet eine Überarbeitung der ASB-ING im Zuge der neuen Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung (u. a. BIM) statt. Zur Identifizierung der Informationsanforderungen wurde die sog. ASB-ING_neu [70] herangezogen, welche im Rahmen des Projekts zur Verfügung gestellt wurde.

Eine detaillierte Zusammenfassung der spezifischen Informationsinhalte bezüglich der administrativen Anforderungen gemäß ASB-ING_neu befindet sich im Anhang 1. Diese bezieht sich dabei auf die Projektinformationen, die das Tunnelbauwerk grundlegend beschreiben, basierend auf der Annahme, dass diese mit Abschluss der Ausführung bzw. vor Inbetriebnahme erfasst werden. Weitere administrative Anforderungen werden mit Bezug auf die jeweiligen Prozesse/Regelwerke in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.3.2 Bautechnische Anforderungen

Der Begriff „bautechnische Anforderungen“ bezieht sich im Rahmen dieses Forschungsberichts auf Anforderungen aus der Bauphase, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Betriebsphase haben. Mit Bezug zum konstruktiven Tragwerk sind dies insbesondere Dokumente in Form von berechtigten Ausführungsunterlagen, sowie darauf aufbauend die Zusammenstellung der Bestandsunterlagen, welche eine zentrale Bedeutung für die Betriebsphase einnehmen. Diese sind wiederum im Hinblick auf ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement abzubilden bzw. zu implementieren. Diesbezüglich können entweder semantische Informationen direkt mit einem (BIM)-Betriebsmodell verknüpft werden oder Dokumente werden in ihrer unstrukturierten Datenform verlinkt.

Zentrale Informationsanforderungen können diesbezüglich aus der ZTV-ING Teil 1 (Allgemein) [68] bzw. der ZTV-ING Teil 5 [69] (tunnelbauspezifisch) abgeleitet werden. Die Regelwerke gelten für den Bau und die Erhaltung gemäß DIN 1076 von Ingenieurbauwerken bzw. Tunnel. Die Anwendung setzt voraus, dass die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB Teil C [71]) vereinbart sind.

Neben bautechnischen Anforderungen ergeben sich auch betriebstechnische und erhaltungstechnische Anforderungen (siehe Kapitel 3.3.3). Die ZTV-ING Teil 5 gliedert sich dabei in folgende Abschnitte:

- Geschlossene Bauweise (Abschnitt 1)
- Offene Bauweise (Abschnitt 2)
- Maschinelles Schildvortrieb (Abschnitt 3)
- Betriebstechnische Ausstattung (Abschnitt 4)
- Abdichtung (Abschnitt 5)

Die Analyse zeigt, dass sich bedingt durch die unterschiedlichen Bauweisen auch eigene Informationsanforderungen hinsichtlich der Ausführungs- bzw. Bestandsdokumentation ergeben. Im Anhang 1 sind spezifische, bautechnische Informationsanforderungen hinsichtlich der Ausführungs-/Bestandsunterlagen für das konstruktive Tragwerk in Verbindung mit daraus ableitbaren strukturierten Informationen aufgelistet. Grundlegend wurden dabei die allgemeinen Anforderungen gemäß ZTV-ING Teil 1 erfasst und um die tunnelbauspezifischen Anforderungen gemäß ZTV-ING Teil 5 ergänzt. Informationsanforderungen bezüglich der betriebstechnischen Ausstattung gemäß ZTV-ING Teil 5, Abschnitt 4 werden in Kapitel 3.3.3 betrachtet.

Speziell für Straßentunnel, die als drainierte Bauwerke gemäß Regelbauweise ausgeführt sind, ergeben sich im Zuge der Ausführung durch die RI-BWD-TU ebenfalls bautechnische Anforderungen.

Der Betreiber des Tunnels ist für die Instandhaltung des Dränagesystems zuständig, wobei er die erforderlichen Aufgaben selbst durchführen kann oder die Leistungen durch Beauftragung externer Firmen einholen kann. Die Wartung umfasst dabei sowohl Untersuchungen in den Revisionsschächten (u. a. Wasserstandshöhe, Versinterungshöhe etc.) sowie Kamerabefahrungen und Spülungen. Zur Durchführung der Arbeiten am Dränagesystem ist grundsätzlich geschultes Personal erforderlich. Die gesamten Daten der Wartungsarbeiten in Form von Befundblättern und Arbeitsblättern sowie die Ergebnisse aus den Messungen werden erfasst und von der zuständigen Verwaltungsbehörde in Beobachtungs- und Übersichtsplänen eingearbeitet. Die Ergebnisse aus den Revisionsschächten und den Kamerabefahrungen sind dabei getrennt zu erfassen. Dabei können anhand der Beobachtungs- und Übersichtspläne weitere Maßnahmen wie bspw. detaillierte Spülpläne (in Abstimmung mit der Spülfirma)

bzw. ggf. weitere, erforderliche Maßnahmen zur Optimierung des Systems ermittelt werden. Entscheidungen ob, konstruktive Zusatzmaßnahmen bspw. in Form von Umleitungen notwendig sind, können basierend auf der Analyse von Versinterungsursachen durch Kosten/Nutzen-Analysen getroffen werden. [47].

Weitere Anforderungen durch das Bergwasserdränagesystem ergeben sich mit Blick auf ein Betriebsmodell bereits vor der Inbetriebnahme durch vorlaufende Untersuchungen des Systems, um eventuell erforderliche Systemverbesserungen bereits vor der Verkehrsfreigabe durchzuführen sind (bspw. ebenfalls Untersuchungen in den Revisionsschächten und Kamerabefahrungen). Diese sind zusammen mit den Anforderungen aus dem Betrieb im Anhang 1 zusammengefasst.

3.3.3 Betriebstechnische Anforderungen

Neben den bautechnischen Anforderungen beinhaltet die ZTV-ING Teil 5 ebenfalls Anforderungen hinsichtlich betriebstechnischer Aspekte, die sich auf die Ausstattung beziehen. In diesem Kapitel werden Anforderungen hinsichtlich der Ausführung bzw. Montage der betriebstechnischen Ausstattung und entsprechende baubegleitende Maßnahmen benannt. Darüber hinaus werden auch Anforderungen an die Eignungs- und Funktionsprüfung zur Prüfung der Anlagensysteme vor Inbetriebnahme des Tunnels (bzw. teilweise nach Verkehrsübergabe wie bspw. bei Messeinrichtungen) genannt. Dabei gelten die Regelungen nicht nur für Neuanlagen, sondern auch hinsichtlich der Instandhaltung und der Erneuerung der betriebstechnischen Ausstattung von Straßentunnel. Für die betriebstechnische Ausstattung ergeben sich somit neben Bestandsunterlagen und Betriebs- und Wartungsunterlagen, die bereits vor Inbetriebnahme zusammenzustellen sind und aus denen zudem spezifische Anforderungen hinsichtlich strukturierter Daten abgeleitet werden können.

Erweiterte Informationsanforderungen zum Betrieb können zudem aus der RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80100 [24] abgeleitet werden. Dies umfasst unter anderem die nachfolgenden Kategorien:

- Gesamtsicherheitskonzept
- Verkehrsraum Tunnel
- Sicherheitseinrichtungen

- Beleuchtung
- Lüftung
- Verkehrstechnische Einrichtung
- Zentrale Anlagen

Des Weiteren wurde auch das Merkblatt für Kontrolle, Wartung und Pflege von Straßentunneln analysiert, welches im Allgemeinen den erforderlichen Aufgabenumfang für den Betriebsdienst beschreibt und aus dem sich diesbezüglich entsprechende Informationen zwecks Unterstützung ableiten lassen.

Darüber hinaus sind auch gemäß ASB-ING [6] Informationen zur Tunnelbeleuchtung, Tunnellüftung, den zentralen Anlagen, den verkehrstechnischen Einrichtungen sowie allgemeinen Tunnelsicherheitsinfos zu erfassen.

Im Anhang 1 werden die einzelnen Informationsanforderungen hinsichtlich der betriebstechnischen Anforderungen detailliert dargestellt.

3.3.4 Erhaltungstechnische Anforderungen

Zentraler Aspekt der Erhaltung sind die Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung von Ingenieurbauwerken, welche zwecks Gewährleistung der Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit durchgeführt wird. Grundlegende Anforderungen hierzu sind in der DIN 1076 [44] geregelt, wobei die ZTV-ING Teil 1 [68] bzw. ZTV-ING Teil 5 [69] entsprechende Anforderungen mit Bezug auf die DIN-Norm ebenfalls listet.

In Ergänzung dazu werden in der „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ (RI-EBW-PRÜF) [45] weitere Anforderungen hinsichtlich der einheitlichen Dokumentation von Daten und Informationen der Bauwerksprüfung auf Grundlage der ASB-ING [6] definiert. Dies umfassen sowohl administrative Daten von Prüfungen (bspw. Prüffart, Prüfer etc.) als auch Schadens- und Mängelinformationen als Ergebnis der durchgeführten Prüfungen.

Im Anhang 1 werden die einzelnen Informationsanforderungen hinsichtlich der erhaltungstechnischen Anforderungen detailliert dargestellt.

4 Praxisorientierte Identifizierung von BIM-Potenzialen für den Betrieb und die Erhaltung von Straßentunneln

Neben der Erfassung von aktuellen Prozessen des Informationsmanagements wurden im Rahmen der Experteninterviews auch mögliche Anwendungen der BIM-Methodik zur Unterstützung bzw. Optimierung der Betriebsphase von Straßentunnel diskutiert.

Die Analyse erfolgt dabei in Anlehnung an BALDWIN [72] vierstufig (siehe Bild 4-1). Zunächst werden die allgemeinen Ziele der Organisation bzw. der jeweiligen Einheit betrachtet. Dadurch sollen interne Zielsetzungen – grundsätzlich unabhängig vom Einsatz der BIM-Methodik – identifiziert werden, welche die Organisation hinsichtlich der Durchführung bzw. Wahrnehmung ihrer Aufgaben in den nächsten Jahren prägen. Die daraus abgeleiteten, strategischen Ziele werden im Rahmen der administrativen Randbedingungen (siehe Kapitel 3.1.4) diskutiert.

Darauf aufbauend werden die Interviewpartner bezüglich ihrer Vorstellungen zum Einsatz der BIM-Methodik konkret für ihre Aufgabenbereiche im Rahmen der Betriebsphase von Straßentunnel befragt. Dies wird mit einer Diskussion gekoppelt, welche auf Grundlage der operativen Prozesse (siehe Kapitel 3.2) sowohl aktuelle Problemstellungen als auch entsprechende Chancen bzw. Potenziale für den Einsatz von BIM betrachtet. Abschließend werden auf Grundlage der Diskussionsergebnisse entsprechende Anwendungsfälle abgeleitet.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass insbesondere Gesprächspartnern mit wenig BIM-Erfahrung während der Diskussion ein besseres Verständnis vermittelt werden kann, wie der Einsatz der Methodik sowohl betriebliche, aber auch planerische Prozesse (in denen die betrieblichen Belange maßgebend sind) verbessert bzw. optimiert werden können.

Nachfolgend werden die ermittelten BIM-Ziele sowie die aktuellen Herausforderungen und Chancen des Betriebs von Straßentunneln diskutiert. Daraus erfolgt eine Zusammenfassung der abgeleiteten BIM-Anwendungsfälle. Ergänzt wird dies durch die Betrachtung weiterer Potenziale zur möglichen Kopplung von Analysetools (bspw. LZK-Analyse). Abschließend werden die potenziellen Anwendungsmöglichkeiten in einem Katalog zusammengefasst.

4.1 BIM-Ziele, Herausforderungen und Chancen

Grundlegende, übergeordnete Ziele während der Betriebsphase sind die Gewährleistung eines sicheren Straßentunnelbetriebs sowie eine hohe Verfügbarkeit des Tunnelbauwerks aufrechtzuerhalten. Diese gehen primär aus den gesetzlichen Anforderungen (siehe Kapitel 3.1.1) an den Straßenbaulastträger hervor und werden sowohl auf internationaler Ebene u. a. durch die EU-Direktive 2004/54/EG [48] als auch im Rahmen der nationalen Umsetzung (in diesem Fall durch die RABT 2006 [25] bzw. EABT-80/100 [24]) genauer spezifiziert.

Die BIM-Ziele resultierend aus den Experteninterviews werden nachfolgend zusammengefasst. Zu jedem Punkt werden die dazu genannten Herausforderungen und Chancen beschrieben:

Dokumentenmanagement

Die Übergabe von Bestandsunterlagen sowie Betriebs- und Wartungsunterlagen (siehe auch Kapitel 3.2) erfolgt derzeit in der Regel über Datenträger ohne einheitliche Vorgaben hinsichtlich der Strukturierung. Die Betreiber sehen hier einen erheblichen Mehraufwand, da die Dokumente intensiv gesichtet und geprüft werden müssen und der Auftragnehmer ggf. bezüglich fehlender Unterlagen kontaktiert werden muss. Durch die Anwendung eines einheitlichen Dokumentenmanagementsystems auf Basis

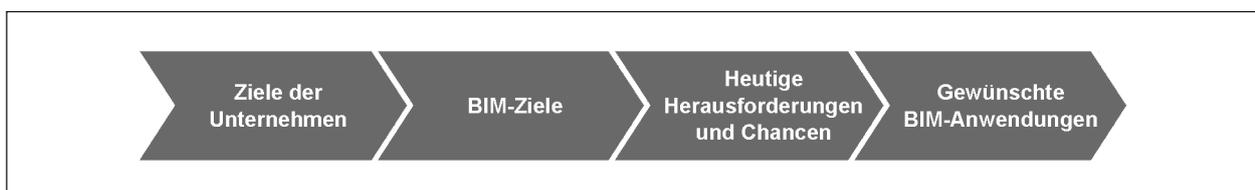


Bild 4-1: Schritte zur Identifizierung des Bedarfs von BIM [72]

eines BIM-Modells wird hier ein deutlicher Mehrwert gesehen, insbesondere um zukünftig doppelte Arbeiten zu vermeiden und somit Zeit einzusparen. Eine grundsätzliche Prüfung der Dokumente sollte jedoch nicht vernachlässigt werden.

Grundsätzlich wurde zu diesem Aspekt angemerkt, dass insbesondere die Bestandsdokumentation von Straßentunnel erhebliche Lücken aufweist. Auf Seiten der Auftraggeber wird vermutet, dass dies aus der niedrigen Bepreisung im Leistungsverzeichnis erfolgt und dem Auftragnehmer dafür der Aufwand zu hoch ist und in keinem angemessenen wirtschaftlichen Verhältnis steht. Eine Aufbereitung im Nachgang findet in der Regel nicht statt. Auf Seiten der Auftragnehmer wird diesbezüglich angemerkt, dass oftmals die im Zuge der Dokumentation zu liefernden Unterlagen in der Ausschreibung nicht eindeutig definiert werden. Die Vorgaben gemäß ZTV-ING Teil 1 [68] bzw. ZTV-ING Teil 5 [69] beinhalten zudem oftmals Dokumente, die aus Sicht des Auftragnehmers in der Praxis keine Anwendung finden. Um dem stetigen Anstieg bezüglich der Anforderungen an den Umfang der Dokumentation entgegenzuwirken, wird vorgeschlagen, die betriebsrelevanten Dokumente und die Anforderungen daran hinsichtlich der Ausschreibung genauer zu spezifizieren.

In der Ausschreibung werden ebenfalls keine Anforderungen an eine Bilddokumentation gestellt, welche jedoch bspw. bei der Instandhaltung der Energieversorgung durch Fotos der Schaltschränke und dem Beifügen bei den Stromlaufplänen gemäß befragtem Auftragnehmer einen Vorteil liefern können.

Ein weiterer Aspekt ist das Erstellen und Verwalten von Dokumenten während der Betriebsphase. Die im Rahmen der Wartung bzw. Instandhaltung eingesetzten Arbeitskarten werden derzeit in der Regel händisch ausgefüllt und sind dann entsprechend zu digitalisieren. Dieser Prozess soll zukünftig vollständig digitalisiert werden. Idealtypisch werden die digitalen Arbeitskarten dann mit einer digitalen Signatur vom jeweiligen Personal, welches die Anlage gewartet hat, unterschrieben. Damit können insbesondere im Fall einer Störung bzw. eines Ereignisses Verantwortlichkeiten besser zugeordnet werden.

Neben der Erfassung von Daten durch digitale Dokumente wird als weiteres Ziel die Bearbeitung im Rahmen eines Workflowmanagements als Chance gesehen, welches insbesondere bei der Erstellung der Sicherheitsdokumentation durch die Beteiligung

zahlreicher Akteure im Abstimmungsprozess den Aufwand reduzieren kann (siehe Kapitel 3.2.4).

Zusammenfassend betrachtet ist die Unterstützung der Übergabe bzw. Verwaltung durch eine einheitliche Struktur aber auch die Erstellung von Dokumenten während des Betriebs ein von allen befragten Betreibern definiertes BIM-Ziel.

Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Instandhaltungsmaßnahmen der betriebstechnischen Anlagen

Aus der Betrachtung der betrieblichen Randbedingungen der Instandhaltung der betriebstechnischen Ausstattung in Kapitel 3.2.2 folgt, dass diese zahlreiche Aktivitäten mit Beteiligung verschiedener Akteure umfasst. Daraus resultieren auch unterschiedliche Möglichkeiten hinsichtlich des Einsatzes der BIM-Methodik. Nachfolgend werden zwei grundlegende Problemstellungen und deren Möglichkeiten zur Optimierung anhand von praktischen Beispielen dargestellt:

- 1) Im Allgemeinen wird von den Tunnelbetreibern Optimierungspotenzial bei der Schnittstelle mit den Wartungsfirmen gesehen, um effizientere und schnellere Störungsbeseitigungen durchführen zu können. Zur Vereinheitlichung der Schnittstelle können ggf. Ticketsysteme eingesetzt werden, die auf beiden Seiten teilweise bereits angewendet werden, jedoch in der Regel nur einseitig einsehbar bzw. bearbeitbar sind. Durch die Verwendung eines (BIM-)Betriebsmodells wird die Chance gesehen, den Informationsstand bzw. Informationsaustausch bezüglich Störungen oder anstehender Arbeiten zu vereinheitlichen.
- 2) Durch die zentrale Speicherung von Informationen im (BIM-)Betriebsmodell wird das Potenzial gesehen, zukünftig umfangreiche Auswertung von Betriebsdaten insbesondere zur wirtschaftlichen Optimierung des Tunnelbetriebs durchzuführen. Beispielsweise könnte so die Ausfallwahrscheinlichkeit von Komponenten taxiert und betriebliche Synergien in der Instandhaltung identifiziert werden.

Beide Beispiele verdeutlichen den Bedarf hinsichtlich einer Vernetzung sowohl mit den jeweiligen Akteuren als auch bezüglich der erfassten Daten um Abhängigkeit schnell und ohne großen Aufwand identifizieren zu können.

- Berücksichtigung betrieblicher Belange bereits früh in der Planungsphase

Ein allgemeines Ziel des Einsatzes der BIM-Methodik ist u. a. durch die vernetzte Planung bereits in einer frühen Phase Konflikte zu erkennen und zu verhindern, die während der Ausführung bzw. des Betriebs ansonsten zu erheblichen Mehrkosten führen würden (siehe auch Kapitel 2.1). Unabhängig vom Einsatz der BIM-Methodik zeigen bspw. die Erfahrungen bei Straßen.NRW, dass eine Zentralisierung der planerischen Tätigkeiten aller betriebstechnischen Aspekte zu einer besseren Abstimmung hinsichtlich betrieblicher Belange geführt hat.

Um insbesondere Konflikte während der Betriebsphase zu vermeiden, wird daher gewünscht, bereits in der Planungsphase entsprechend im Informationsprozess (Workflow) involviert zu sein. So könnten auch die im Betrieb gesammelten Erfahrungen bei der Planung neuer Tunnel besser berücksichtigt werden.

Neben der frühen Einbindung am Informationsaustausch sollten betriebliche Belange ebenfalls während der Planungsphase im Rahmen von automatisierten Kollisionsprüfungen der Fachmodelle bzw. bei Modellprüfungen berücksichtigt werden. So können bspw. durch Regelabfragen Anforderungen aus dem Betrieb (bspw. keine Betriebstechnik innerhalb des Verkehrsraums) bereits früh am Modell geprüft werden.

Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Erhaltungsmaßnahmen am konstruktiven Tragwerk

Im Rahmen der Experteninterviews wurde keine Organisationseinheit befragt, die direkt an der Organisation und Durchführung der Bauwerksprüfung im Zuge der Erhaltung des Tunnelbauwerks beteiligt ist. Im Vergleich zu den Instandhaltungsmaßnahmen für die betriebstechnischen Anlagen von Straßentunneln wird von Seiten des Forschungskonsortiums jedoch auch bei diesen Prozessen insbesondere ein hohes Potenzial bezüglich der zentralen Speicherung/Verknüpfung von Informationen mit einem Betriebsmodell gesehen. Ergebnisse aus der Bauwerksüberwachung und Bauwerksprüfung können beispielsweise digital erfasst werden, mit den entsprechenden Bauteilen bzw. dem Bauwerk verknüpft werden und anschließend über Schnittstellen mit Systemen zur Planung von Erhaltungsmaßnahmen (siehe Richtlinien für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieur-

bauwerken (RPE-ING) [73]) bzw. korrespondierenden Datenbanken (bspw. ASB-ING [6]) ausgetauscht werden.

4.2 Erweiternde Potenziale

Aus den formulierten BIM-Zielen und den formulierten Herausforderungen und Chancen hinsichtlich der Implementierung und Nutzung eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements geht hervor, dass bei Betreibern derzeit insbesondere die Digitalisierung von Dokumentationsvorgängen sowie die Verbesserung von kommunikativen Schnittstellen im Vordergrund steht. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden darüber hinaus weitere Potenziale zur Erweiterung bisheriger Betriebsabläufe untersucht. Diese werden nachfolgend diskutiert.

Anwendung von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)

Für die Ausführung und Planung im Tunnelbau bieten Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) nützliche Werkzeuge, um die Vision des Bauvorhabens visuell greifbarer zu machen. Bei VR setzt der Anwender in der Regel eine technische Brille auf, um sich virtuell in einer speziell angefertigten 3D-Szene zu bewegen.

In einer solchen VR-Brille sind Linsen und kleine Monitore verbaut, welche die Szene für das Auge projizieren. Zur Bewegung innerhalb der 3D-Szene dienen spezielle Controller die Händisch gesteuert werden. Abhängig davon, welche VR-Technologie zum Einsatz kommt, dienen angebrachte Sensoren zum Tracking der Position im Raum, wodurch ein eingeschränkter Bewegungsbereich ermöglicht wird.

Auch bei AR ist das räumliche Tracking und die Visualisierung von virtuellen Gegenständen ein bedeutsamer Aspekt. Anders jedoch als VR, wo die virtuelle Szene von der Außenwelt entkoppelt betrachtet wird, werden in AR virtuelle Objekte dazu genutzt, um sie in der realen Welt zu projizieren. Virtuelle Objekte überlagern dabei die Außenwelt und erweitern (engl.: Augmented) diese Informativ. Dies kann durch eine AR-Brille ermöglicht werden, wobei heutzutage moderne Smartphones von der Leistung her bereits in der Lage sind einfache AR-Technologien umzusetzen. Eine umfangreiche Nutzung der Technologien ist zurzeit nur mit einem entsprechenden Nachbearbeitungsaufwand der

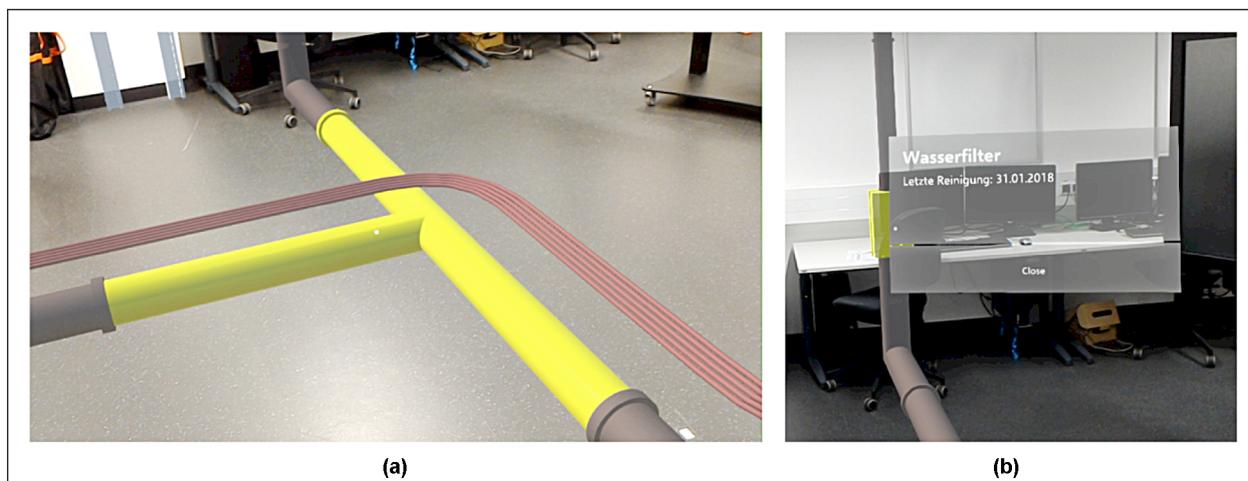


Bild 4-2: Lokalisation von Kabel und Rohre (a), sowie die Abfrage spezifischer Eigenschaften (b) anhand eines Demonstrators an der Ruhr-Universität Bochum

Modelle und der Anschaffung von teurem Equipment oder Software umsetzbar. Jedoch, mit der stetigen Weiterentwicklung der vorhandenen Werkzeuge wie Smartphones und leistungsstarken Heimrechnern, ist es der Industrie bereits gelungen, die Technologien einem breiten Spektrum der Bevölkerung zugänglicher zu machen.

Im Bauwesen profitiert VR stark von dem Planungsaspekt, indem es beispielsweise eine virtuelle Bauwerksbegehung auf Basis von Modelldaten ermöglicht. Es vermittelt dabei die Dimensionalität und verdeutlicht, wie das Bauwerk voraussichtlich aussieht. Details können dabei direkt aus dem Modell ausgelesen und verarbeitet werden. Für den Tunnelbetrieb steht jedoch insbesondere AR im Vordergrund, da das Bauwerk bereits existiert. In AR wird die Bearbeitung von einzelnen Objekten begünstigt. So wäre es für die ermittelten Anwendungsfälle der IDM (siehe Kapitel 5.2) vorstellbar die Lokalisierung von Objekten in der Wartung und Inspektion anhand einer AR-Applikation zu begleiten. Beispielsweise können so verdeckte Kabelkanäle, Stromkästen oder generell das technische verbaute Equipment mit dem Smartphone oder einer AR-Brille gefunden und allgemeingültige Informationen ausgelesen werden (siehe Bild 4-2).

Abfrage von erfassten Datenpunkten zur weiteren Anwendung (u. a. LZK-Analyse, Risikoanalyse)

Weitere Potenziale hinsichtlich der Nutzung im Modell hinterlegter Informationen ergeben sich bezüglich der Generierung von Abfragen bzw. der Anwendung von Abfragesprachen (bspw. SPARQL). Als

Beispiel kann hier die Betrachtung von Kostenentwicklungen oder auch die Durchführung von Lebenszykluskostenanalysen herangezogen werden. Anhand der Strukturierung entsprechender Kosteninformationen können diese direkt aus dem Modell abgefragt werden und als Input für Tools verwendet werden. Ein weiteres Beispiel ist die Ableitung von Angaben zur Geometrie zur Generierung von Modellen in externen Softwareanwendungen (bspw. FDS für die Brandsimulation). Zur optimierten Verwertung durch Abfragesprachen sollten diese idealtypisch als semantische Information (in Form von Merkmalsgruppen und Merkmalen) hinterlegt sein. Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Software entsprechende Schnittstellen liefert oder diese entsprechend vom Anwender erstellt werden.

Regelbasierte Abfragen zur Prüfung von Modelleigenschaften und weiteren Anforderungen

Auf Basis von Abfragen können Regeln zur Überprüfung von Modelleigenschaften implementiert werden. Eine Regel bewertet das Ergebnis einer Anfrage und formuliert eine Aussage über das vorliegende Modell. Somit können Informationsanforderungen automatisiert geprüft werden. Durch die Implementierung von Prüfwerkzeugen besteht so das Potenzial für die transparente Überprüfung erbrachter Leistungen und damit eine Beschleunigung von Abnahme- und Bereitstellungsprozessen. Es wird angenommen, dass eine Standardisierung und einheitliche Nutzung implementierter Regeln das Fehlerpotenzial bei der Handreichung reduzieren kann.

4.3 BIM-Anwendungsfälle

In Tabelle 4-1 werden auf Grundlage der identifizierten BIM-Ziele potenzielle BIM-Anwendungsfälle abgeleitet. Maßgeblich basierend auf den Erkenntnissen aus den Gesprächen mit den Betreibern und weiteren Beteiligten wie bspw. Wartungsfirmen werden die entsprechenden Anforderungen an die Geometrie und die Semantik zusammenfassend dargestellt. Zudem wurde aus den Interviews abgeleitet, welche Priorität bei der Umsetzung vorliegt. Dies korrespondiert mit den Einschätzungen hinsichtlich strategischer Ziele aus Kapitel 4.1. Zudem wurde innerhalb des Forschungskonsortiums die Komplexität hinsichtlich der Umsetzung der Anwendungsfälle bewertet.

Die BIM-Ziele bilden wiederum die Grundlage für die Spezifizierung von standardisierten Anwendungsfällen (AWF). Der „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“ des BMDV (MR BIM) [96] bzw. BIM4INFRA [28] beschreiben derzeit mit Fokus auf die Planung und Ausführung insgesamt 20 beispielhafte Anwendungsfälle, wobei die Betriebsphase als einzelner Anwendungsfall (Nr. 200 – „Nutzung für Betrieb und Erhaltung“) zusammengefasst wird.

Auf Grundlage der im Forschungsprojekt identifizierten BIM-Ziele werden in der Folge potenzielle BIM-Anwendungsfälle für die Betriebsphase von Straßentunneln abgeleitet, die auf AWF 200 aus der MR BIM [96] bzw. von BIM4INFRA [28] aufbauen. Diese stellen die für Straßentunnel typischen Anwendungsfälle da – gleichwohl kann es für das jeweils spezifische Projekt hier ebenfalls zu Anpassungen kommen. Dies ist im Einzelfall zu prüfen. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden die

entsprechenden Anforderungen an die Geometrie und die Semantik zusammenfassend dargestellt. Zudem wird eine Abschätzung der Priorität bei der Umsetzung gegeben und mit einer Bewertung der Komplexität hinsichtlich der Umsetzung der jeweiligen Anwendungsfälle bewertet. Die tabellarische Zusammenfassung ist als betriebsspezifische Erweiterung mit Fokus auf Straßentunnel der standardisierten Anwendungsfälle aus der MR BIM [96] bzw. von BIM4INFRA [28] zu betrachten.

Prozess	BIM-Ziel	AWF	Anwendungsfall	Beschreibung	Anforderungen an die Geometrie	Anforderungen an die semantischen Informationen
H-01	Handover zur Nutzung für Betrieb und Erhaltung	201	Betriebsmodell	Erstellung des Betriebsmodells auf Grundlage des As-built-Modells	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Vollständige Informationen, sowie Verknüpfung, bspw. mit Bestands- und Betriebsunterlagen gemäß ZTV-ING
H-02		202	Verwaltung	Aktualisierung und Verwaltung des Betriebsmodells		

Tab. 4-1: Praxisorientierte Ableitung von Anwendungsfällen für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement von Straßentunneln

Prozess	BIM-Ziel	AWF	Anwendungsfall	Beschreibung	Anforderungen an die Geometrie	Anforderungen an die semantischen Informationen
EM-01 IM-01	Unterstützung des Erhaltungs- und Instandhaltungsmanagements	203	Digitalisierte Zustandserfassung	Digitale Dokumentation von Instandhaltungsmaßnahmen	Detailliertere geometrische Darstellung der Objekte, vereinfachte Darstellung des Tunnelbauwerks	Informationen der Instandhaltung (siehe bspw. Arbeitskarten)
EM-02 IM-02		204	Einsatzplanung	Ableitung und Koordinierung von weiteren Instandsetzungsmaßnahmen	Keine bis geringe Anforderungen je nach Umsetzung	Termininformationen, Zuständigkeiten etc.
EM-03 IM-03		205	Visualisierung und Auswertung	Visualisierung und Auswertung von Instandhaltungsdaten	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Entsprechende Instandhaltungsdaten (bspw. Wartungszyklen, Prüftermine)
EM-04 IM-04		206	Störfalldatenbank	Aufbau einer Störfalldatenbank mit Informationen zu vergangenen Störfällen und den Lösungen zur Behebung	Keine	Störfallinformationen (Datum, Art, Lösung etc.)
EM-05 IM-05		207	Prädiktive Instandhaltung	Erfassung v. Informationen zur vorrausschauenden Instandhaltung bzw. Erhaltung	Detailliertere geometrische Darstellung der Objekte, vereinfachte Darstellung des Tunnelbauwerks	Erweiterte Zustandsdaten (bspw. Betriebsdauer, Schwingungswerte etc.)
EM-06 IM-06		208	Mängelmanagement	Organisation des Gewährleistungsmanagements	Keine bis geringe Anforderungen je nach Umsetzung	Informationen zur Gewährleistung (bspw. Inbetriebnahme
BM-01	Unterstützung des Betriebsmanagements	209	Schulung	Planung/Durchführung von Schulungen für Einsatzkräfte (Rücksprache mit Herrn May)	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Bspw. Informationen aus der Sicherheitsdokumentation, Ablauf des Notfallbetriebs etc.
BM-02		210	Visualisierung und Auswertung	Visualisierung und Auswertung von Betriebsdaten	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Z. B. Energieverbrauch
BM-03		211	Ticketsystem	Ticketsystem mit übergreifenden Schnittstellen zur Störungsbeseitigung	Objekt/Komponenten als detaillierte Modellansicht	Störungsinformationen, Gewährleistungsabfrage, Verantwortlichkeiten
BM-04		212	Digitaler Zwilling	Digitaler Zwilling zur Simulation von Betriebsprozessen (siehe Beispiel BaWü, Testen von Lüftungsprogrammen)	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Detaillierte Informationen über Anlagen und Bauwerk, weitere Anwendungsfälle möglich
MM-01	Prüfungen hinsichtlich betrieblicher Belange (bspw. früh in der Planungsphase)	213	Modellprüfung	Modellprüfung hinsichtlich der Datenintegrität bzw. Vollständigkeit von Unterlagen	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Lageinformationen, Verkehrsrauminformationen etc.
MM-02		214	Kollisionsprüfung	Kollisionsprüfung verschiedener Gewerke	Hoher Detaillierungsgrad, abgeleitet aus dem As-built-Modell	Lageinformationen, Verkehrsrauminformationen etc.
H: Handover IM: Instandhaltungsmanagement BM: Betriebsmanagement EM: Erhaltungsmanagement MM: Modellmanagement						

Tab. 4-1: Fortsetzung

5 Information Delivery Manual

Zur Ableitung von Informationsanforderung definiert die ISO-Norm 29841-1 [74] eine Methodik zur Prozessbeschreibung basierend auf dem sog. „Information Delivery Manual“. Im Rahmen dessen wird für den entsprechenden Prozess der relevante Austausch von Daten zwischen den Akteuren mit ihren Rollen festgelegt (siehe Bild 5-1).

Im ersten Schritt wird der grundsätzliche Informationsaustausch beschrieben. Diesbezüglich liefert der ISO-Standard zwei komplementäre Ansätze: während Prozess-Diagramme insbesondere bei vordefinierten Geschäftsprozessen (bspw. durch vertragliche Vereinbarungen oder regulativer Vorgaben) sinnvoll sind, legen Interaktionspläne bzw. Transaktions-Diagramme den Schwerpunkt auf die Koordination von Aktivitäten zwischen unterschiedlichen Akteuren.

Hinsichtlich der Prozesse, die den Betrieb von Straßentunneln umfassen, bilden Prozess-Diagramme die Grundlage zur Beschreibung, da die Akteure mit den Rollen eindeutig definierbar sind. Dabei ist jedoch abzugrenzen, ob die Durchführung der Aktivitäten innerhalb der Prozesse durch Eigenleistung oder Fremdvergabe erfolgen. Im Fall der Instandhaltung der technischen Ausstattung sind Prozessabläufe und Rollen bspw. im Rahmen eines Instandhaltungsvertrags mit einer Fachfirma vereinbart.

In Abhängigkeit der Voraussetzungen bei den jeweiligen Verwaltungsbehörden (vorhandenes Personal etc.) werden einzelne Prozesse oder Teile davon in Eigenleistung u. a. durch die Autobahn- bzw. Straßenmeistereien durchgeführt, wie bspw. die Reinigung von Tunnelwänden. Diese internen

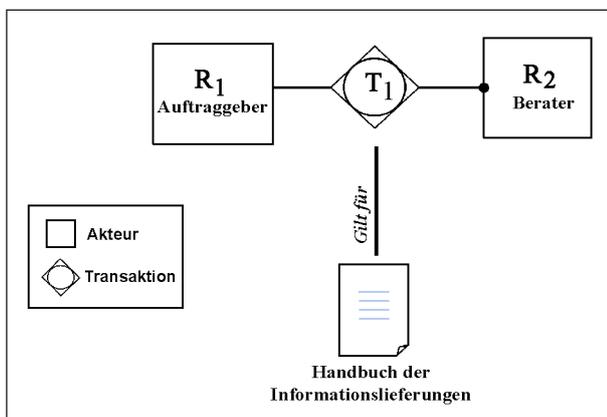


Bild 5-1: Vereinfachtes Beispiel für die Anwendung eines IDMs [74]

Prozesse unterscheiden sich bezüglich der sequenziellen Abfolge und einzelner Teilprozesse von Fremdleistungen.

Nachfolgend werden zunächst die theoretischen Grundlagen für die Organisation des Informationsaustausches beschrieben. Dies umfasst sowohl die Anwendung von Informationscontainer gemäß ISO 21597-1 [75] als auch die Zusammenstellung des Level of Information Need (LOIN) gemäß DIN EN 17412 [20] zur Beschreibung der notwendigen Detaillierungstiefen für den jeweiligen Informationsaustausch. Darauffolgend werden die Information Delivery Manuals für eine Auswahl an Prozesse des Betriebs und der Erhaltung dargestellt.

Es ist wichtig anzumerken, dass die hier abgebildeten Prozesse ausschließlich des Informationsaustausches zwischen mehreren Akteuren bzw. Rollen abbilden. Dazu wurden die Erkenntnisse aus der Betreiberanforderungsanalyse in AP 2 (siehe 2. Zwischenbericht) herangezogen. Die Auseinandersetzung mit den spezifischen Inhaltsanforderungen basiert zusätzlich auf den vorliegenden Vertragsunterlagen des Branichtunnels (L 536, Schriesheim, Baden-Württemberg), welche während der Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt wurden.

5.1 Allgemeine Vorgehensweise zum Informationsaustausch

Nachfolgend werden die grundsätzlichen Anforderungen an den Informationsaustausch erläutert, welche die entwickelten BIM-Prozesse maßgeblich stützen. Zentrales Element ist diesbezüglich auf der einen Seite die Anwendung von Informationscontainern (ICDD- Information Container for Linked Document Delivery), um einen verlustfreien Informationsaustausch zwischen mehreren Beteiligten zu ermöglichen. Der Ansatz der ICDD-Container ist dabei konzeptionell und beschreibt eine strukturierte Arbeitsweise, stellt jedoch allein keine softwarebasierte Umgebung zur Datenhaltung dar (bspw. in Form einer Common Data Environment (CDE)). Das Zusammenspiel zwischen ICDD-Containern und der CDE wird in Kapitel 7.4 anhand der Potenziale einer Webplattform erläutert.

Auf der anderen Seite sind die Anforderungen an den Informationsaustausch bzw. die Inhalte eindeutig für jeden Austauschpunkt festzulegen. Hierzu wird nachfolgend das LOIN-Konzept betrachtet (siehe auch Kapitel 2.1.3).

5.1.1 Anwendung von Informationscontainern

Um einzelne Betriebs- bzw. Erhaltungsprozesse im Kontext des Building Information Modeling (BIM) durchzuführen, wird vorgeschlagen, den Austausch zwischen den Akteuren (bspw. Verwaltungsbehörde und Wartungsnehmer) durch das ICDD-Format zu ermöglichen. ICDD ermöglicht einen heterogenen Austausch sowie die Speicherung und Archivierung von Informationen im Bauwesen. Der ICDD-Standard wird in der ISO 21597-1 [75] beschrieben. Durch Verwendung von ICDD wird ein Linked-Data-Ansatz ermöglicht, sodass ein Austausch von Anforderungen über ein BIM-Modell (IFC) und XML Dokumente realisiert werden kann. Die Verknüpfung der Dokumente wird über RDF/OWL Ontologien beschrieben und sind ebenfalls im ICDD enthalten. Zur Erweiterung herkömmlicher Betriebsabläufe besteht somit die Möglichkeit, zentrale Dokumente in digitaler Form einem IFC-Modell für den Betrieb bzw. die Erhaltung beizulegen und nach durchgeführter Leistung auf Vollständigkeit zu prüfen. Die Prüfung kann mit einer Regelsprache durchgeführt werden, so ermöglicht bspw. SPARQL eine Überprüfung von RDF/OWL in Kombination mit ifcOWL.

Die Dokumente innerhalb eines ICDD sind mit Referenzen und IDs über RDF-Dokumente miteinander verknüpft (linked data). Der Aufbau folgt der Definition aus ISO 21597 [75] (siehe Bild 5-2).

Die Index.rdf Datei ist ein Header für das Archiv und beinhaltet Metainformationen über die enthaltenen Dokumente, wie beispielsweise Name, Ordner-Pfad und Datum. Im Ordner Ontology resources sind die

Definitionen und das Schema für das Verknüpfen (Linken) hinterlegt. In Payload documents werden alle Handlungsgegenstände hinterlegt. In diesem Beispiel repräsentiert TunnelModell.ifc ein IFC-Modell, das das Bauwerk mitsamt der betriebstechnischen Ausstattung in einem geeigneten Level of Geometry (LoG) und Level of Information (LoI) beinhaltet (siehe Kapitel 2.1.3). Notwendige Dokumente (hier beispielhaft Arbeitskarten) können als XSD-Vorlage in digitalisierter Form beigelegt werden und anschließend als XML-Dokument vom bearbeitenden Personal maschinenlesbar ausgefüllt werden.

Auf welcher Art die Dokumente mit dem Modell verknüpft sind, wird im Payload triples Ordner hinterlegt. Dort sind instanziierte Datensätze mit konkreter Verknüpfung hinterlegt und abrufbar. Die Repräsentations- und Informationstiefe kann für jede Arbeitskarte und Zielobjekt individuell bestimmt werden. Dies bietet im Fall der Arbeitskarten die Möglichkeit, bereits vorhandene Strukturen – bspw. im Fall von Bestandsbauwerken – zu implementieren, wodurch digitale Arbeitskarten ohne großen Mehraufwand bereits kurz- bis mittelfristig einsetzbar sind. Langfristig empfiehlt es sich, eine standardisierte Vorlage für digitale Arbeitskarten zu entwickeln, welche – falls notwendig – gewerkspezifisch angepasst werden kann. Bei Bestandsbauwerken könnte diese nach jedem Gesamtaustausch der betriebstechnischen Ausstattung im Zuge des Endes eines Instandhaltungszyklus eingeführt werden.

Ein weiterer Vorteil, neben der Reduzierung des Gesamtaufwandes bei der Erstellung von Doku-

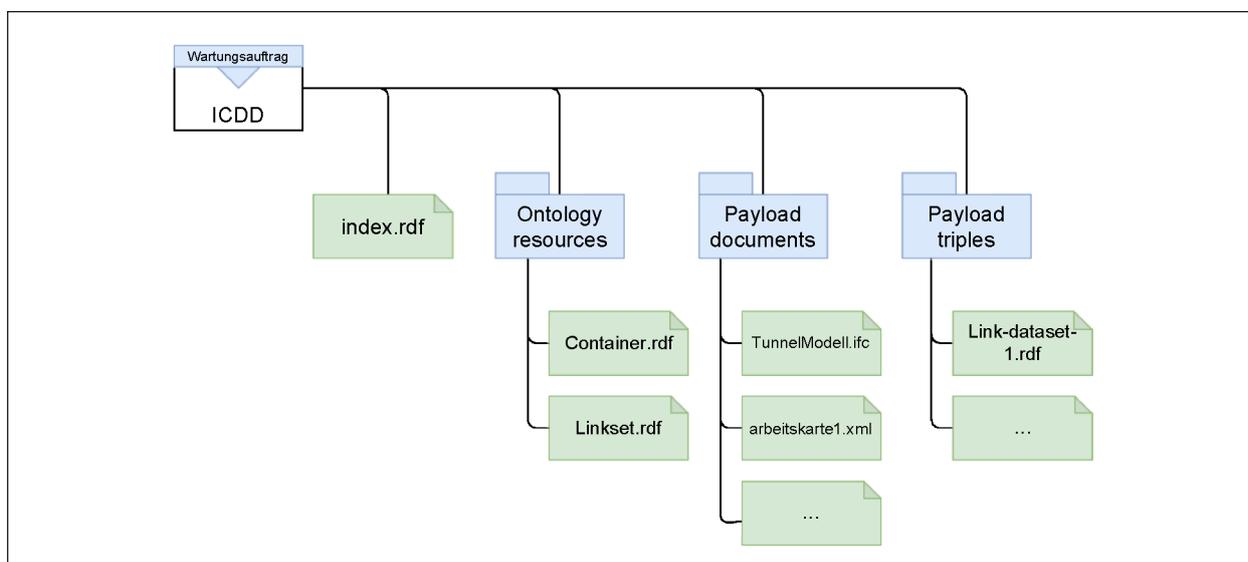


Bild 5-2: Beispielhafter Inhalt eines ICDD Wartungsauftrags

menten, ist die damit einhergehende Vergleichbarkeit (bspw. von durchgeführten Leistungen zwischen Tunnelbauwerken).

5.1.2 Zusammenstellung des Level of Information Need (LOIN)

Neben der technischen Umsetzung der Austauschprozesse ist auch eine eindeutige Definition der zu liefernden Informationen für den entsprechend vereinbarten Nutzungszweck des BIM-Modells erforderlich. Diesbezüglich wird im Rahmen dieses Projekt das Konzept bzw. die Definition des Level of Information Need (LOIN) gemäß DIN EN 17412 [20] angewendet.

Bild 5-3 zeigt die erforderlichen Inhalte zur Beschreibung des LOIN gemäß DIN EN 17412-1 [20] in der Übersicht. Durch die Verwendung von IDs, Bezeichnungen, Definition sowie Beschreibungen, kann der LOIN genau spezifiziert werden. Dabei

werden durch die EN ISO 17412-1 [20] zur detaillierten Beschreibung des geometrischen und semantischen Detaillierungsgrades sowie der Dokumente ebenfalls Aspekte mit Beispielen beschrieben, die festgelegt werden sollten.

Im Bereich des Tunnelbaus existieren derzeit bereits entsprechende Definitionen, welche sich allerdings vermehrt auf die Planungs- und Bauphase beziehen (siehe DAUB-Empfehlung „BIM im Untertagebau“ und DEGES BIM-Leitfaden in Kapitel 2.1.3). Beide Ausarbeitungen definieren die Detaillierungsgrade von Objekten anhand des Level of Developments bzw. LODs (bspw. für Gewölbe, Sohle und Schale eines Tunnels, in den DAUB-Empfehlungen [14]). Dieser setzt sich ebenfalls aus der Festlegung des LOGs und des LOIs zusammen. Prinzipiell sind beide Ansätze gleichbedeutend, wobei der Fokus der LOIN-Definition sich mehr auf die Spezifikation des Objektrefengrades bezieht, und verstärkt die Sicht des Bauherren bzw. Auftraggebers berücksichtigt.

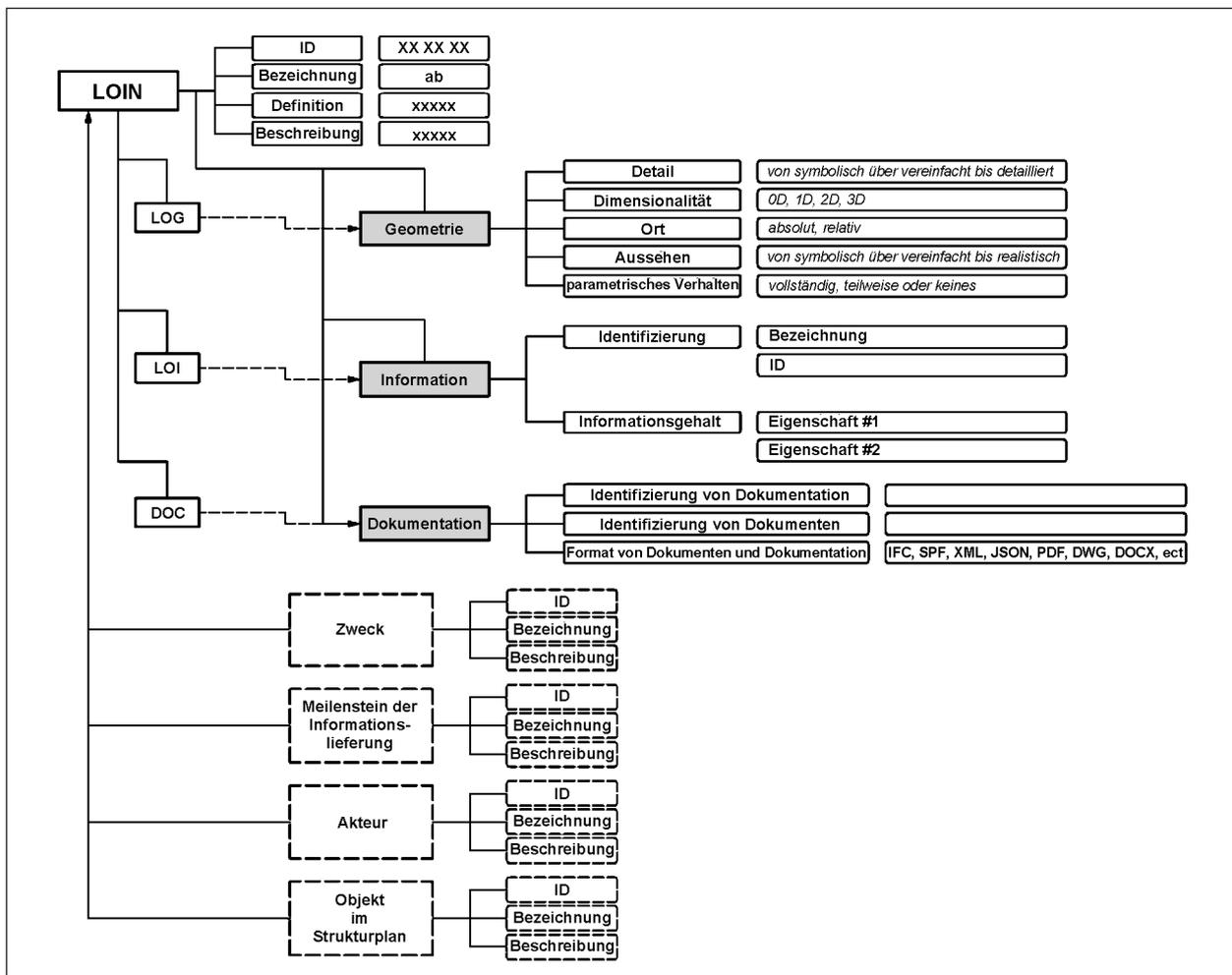


Bild 5-3: Darstellung des LOIN-Rahmens (Entwurfsversion) aus DIN EN 17412 [75]

5.2 Beschreibung einzelner Prozesse

Im folgenden Kapitel werden die Information Delivery Manuals für einzelne Prozesse dargestellt. Grundsätzlich werden diesbezüglich Prozesse des Betriebs und Prozesse der Erhaltung abgegrenzt (siehe Kapitel 3.1.2). Der Fokus liegt hierbei auf der Instandhaltung der betriebstechnischen Anlagen sowie die Erfassung von Schadensinformationen im Rahmen der Erhaltung des konstruktiven Tragwerks. Weitere Prozesse, die teilweise aus den nachfolgenden Darstellungen hervorgehen, werden anschließend hinsichtlich ihrer Potenziale untersucht.

5.2.1 Übergabe der Bestandsdokumentation (Handover)

Sowohl bei der konventionellen als auch bei der BIM-basierten Durchführung von Tunnelbauprojekten ist ein zentraler Schritt beim Übergang von der Ausführungs- in die Betriebsphase die Zusammenstellung der Bestandsunterlagen bzw. die Ableitung eines Betriebsinformationsmodells (siehe auch Kapitel 3.2). Nachfolgend wird sowohl der konventionelle Prozess (IST-Zustand) als auch ein BIM-orientierter Ansatz (SOLL-Zustand) beschrieben. Darauf aufbauend, werden entsprechende Austauschforderungen definiert.

Konventionelle Übergabe der Bestandsdokumentation

Gemäß den Anforderungen der ZTV-ING Teil 1 [68] sind spätestens mit der Einreichung der Schlussrechnung vom Auftragnehmer die entsprechenden Bestandsunterlagen an den Auftraggeber zu übergeben. Bild 5-4 zeigt die Übergabe der Dokumentation (engl.: handover) bzw. die Zusammenstellung der Bestandsunterlagen in Form eines vereinfachten Prozessdiagramms. Auftraggeber und Auftragnehmer stellen Rollen dar, die durch verschiedene Akteure besetzt werden können.

In der Praxis wird diese bspw. von den Ausführungsfirmen für die entsprechenden Gewerke (u. a. Rohbau/konstruktives Tragwerk, betriebstechnische Ausstattung) wahrgenommen. Dadurch kommt es in der Regel zu unterschiedlichen Übergabepunkten (Austausch von Bestandsunterlagen, Ausführungsunterlagen und der Schlussrechnung). Abschließend erfolgt eine Zusammenstellung der Bestandsunterlagen auf Seiten des Auftraggebers (in

der Regel Verwaltungsbehörde). Die Unterlagen werden dabei sowohl in Papierform als auch digital zur Verfügung gestellt, wobei dies vertraglich zu vereinbaren ist (siehe auch Kapitel 4.1).

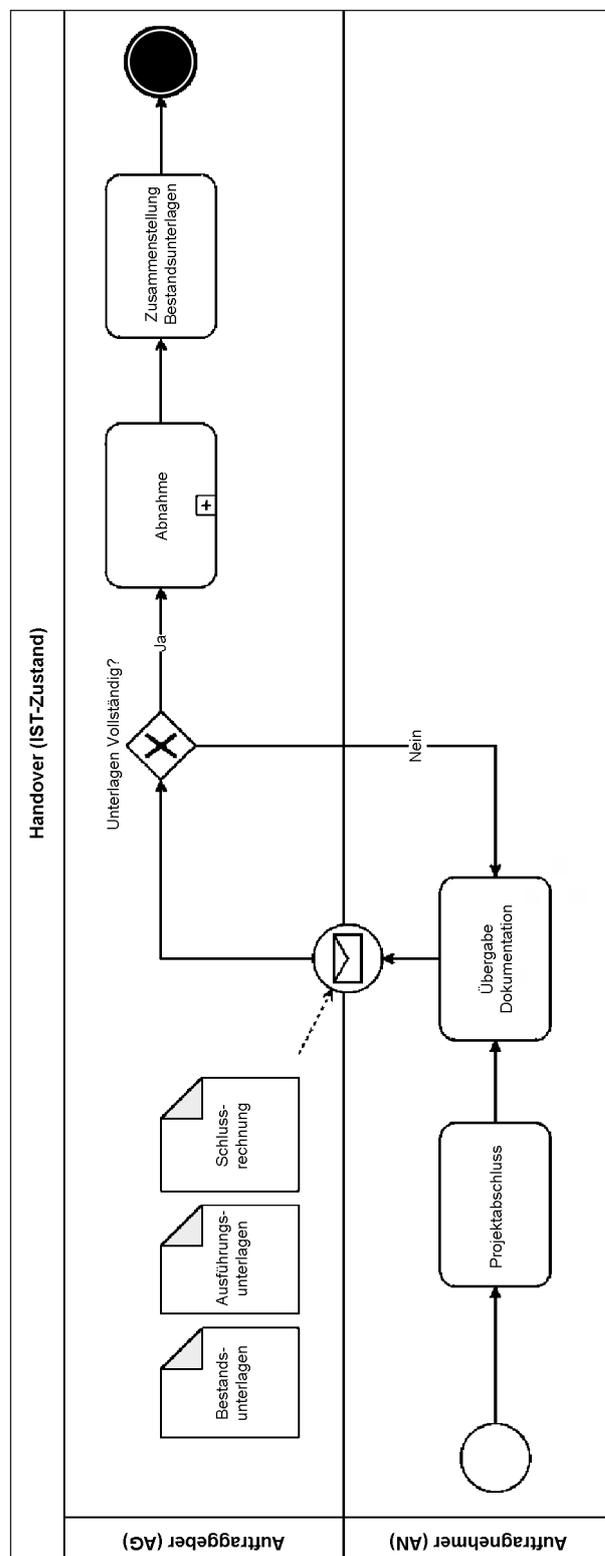


Bild 5-4: Prozessdiagramm „pm_handover_bestandsunterlagen“ für die konventionelle Übergabe der Bestandsdokumentation

Dieser Prozess wurde beispielhaft auf Grundlage der Anforderungen gemäß ZTV-ING Teil 1 erstellt und repräsentiert einen idealtypischen Ablauf bei der Übergabe und Zusammenstellung der Bestandsunterlagen.

BIM-basiertes Handover zum Betriebsmodell

Durch die Einführung der BIM-Methodik kommt es zu wesentlichen Prozessänderungen bei der Übergabe von Bestandsunterlagen bzw. den jeweiligen Fachmodellen. Die Fachmodelle bilden das sog. Koordinationsmodell aus dem wiederum das As-built-Modell und das Betriebsmodell erstellt werden (siehe auch Kapitel 6).

Bild 5-5 zeigt die mögliche Gestaltung eines BIM-basierten Übergabeprozesses. Der Austausch des Fachmodells erfolgt dabei innerhalb eines ICDD-Containers (siehe auch Kapitel 5.1) der neben dem aktuellen Modell im IFC-Format auch die Schlussrechnung sowie die Ausführungs- bzw. Bestandsunterlagen enthält. Hinsichtlich einer digitalen Weiterverarbeitung einzelner Informationsinhalte empfiehlt sich die Übermittlung entsprechender Unterlagen (bspw. die Schlussrechnung) als strukturierte Information im maschinenlesbaren Format XML.

Die Erstellung des As-built-Modells bzw. die Ableitung des Betriebsmodells wird in diesem Fall durch einen weiteren Auftragnehmer durchgeführt (bspw. Planungsbüro oder Softwarespezialist).

Der abgebildete Ausschreibungs- und Vergabeprozesses orientiert sich an den Handreichungen der Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA (hier Teil 1 [76]). Dabei bilden die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) das zentrale Dokument der Ausschreibung, in denen genauer zu spezifizieren ist, welche Daten benötigt werden. Im Rahmen des BIM-Abwicklungsplans (BAP) werden die Prozesse zur Herstellung der geforderten Daten festgelegt. BIM-4INFRA [76] beschreibt unterschiedliche Varianten zur Erstellung bzw. Übergabe des BAPs. Dieser kann sowohl vom Auftraggeber im Rahmen der Ausschreibung zur Verfügung gestellt werden oder der Auftragnehmer hat dies im Zuge des Vergabeverfahrens als Vorab-BAP zu erstellen.

Im Rahmen des Vergabeprozesses soll in der Regel eine Kompetenzabfrage von Seiten des Auftraggebers erfolgen, um sicherzustellen, dass der vorgesehene Auftragnehmer in der Lage ist, die Anforderungen zu erfüllen. Ist diese erfolgreich, wird

der Auftragnehmer beauftragt und ihm werden innerhalb eines ICDD-Containers das aktuelle BIM-Modell sowie die Bestands- und Ausführungsunter-

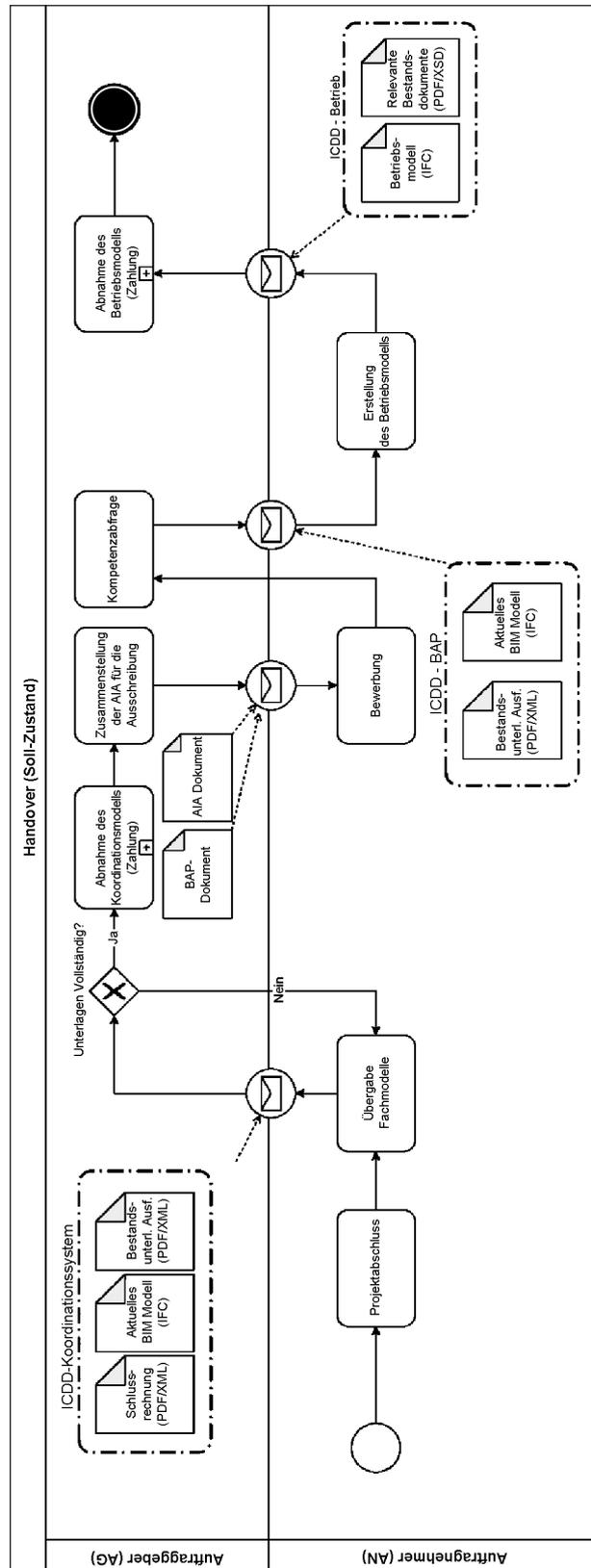


Bild 5-5: Prozessdiagramm „pm_handover_betriebsmodell“ für das BIM-basierte Handover

lagen übermittelt. Nach Fertigstellung des Modells ist dieses wieder an den Auftragnehmer zu übermitteln.

Austauschanforderungen für das Handover

Die Zusammenstellung der erforderlichen Informationen in Form der LOIN-Beschreibung (siehe Kapitel 5.1.2) befindet sich in Anhang 2-1.

5.2.2 Wartung und Inspektion

Die Instandhaltung der technischen Ausstattung wird vertraglich zwischen der Verwaltungsbehörde (als Auftraggeber) und einem qualifizierten Dienstleister (als Auftragnehmer) geregelt. In der Praxis wird in meisten Fällen aufgrund bestehender Gewährleistungsansprüche innerhalb der ersten fünf Jahre nach Inbetriebnahme die Firma beauftragt, welche bereits im Zuge der Ausführung für die Ausstattung des Tunnels verantwortlich war. Der Vertrag wird gemäß den Erkenntnissen aus den Experteninterviews entweder aktiv unter Berücksichtigung der gültigen Fristen von einer Partei gekündigt oder ansonsten stillschweigend verlängert (i. d. R. weitere 5 Jahre).

Gemäß den betrieblichen Randbedingungen (siehe Kapitel 3, Betreiberanforderungsanalyse) besteht die Instandhaltung aus den Teilprozessen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung. Im Rahmen dieses Berichts werden die Teilprozesse Wartung und Inspektion betrachtet, welche als auslösendes Ereignis von der Instandsetzung und der Verbesserung abzugrenzen sind. Letztere führen in der Regel auch zu substanziellen Änderungen an der Ausstattungsconfiguration und bilden somit meistens die Grundlage für einen neuen Prozess

bzw. die Aufsetzung eines neuen Betriebsmodells. Dies gilt insbesondere im Falle einer Sanierung und Nachrüstung und ist im Einzelfall anhand des Instandsetzungsbedarfs festzulegen bzw. mit den verschiedenen Beteiligten abzustimmen.

Bild 5-6 zeigt eine Übersicht der Wartung und Inspektion in Form einer Prozesslandkarte mit der Unterscheidung zwischen Managementprozessen, welche die Steuerung der Kernprozesse organisiert, die wiederum die eigentlichen Tätigkeiten zu Erbringung der erforderlichen Leistung darstellen.

Die Kernprozesse gliedern sich gemäß der Auswertung vorliegender Instandhaltungsverträge vereinfacht in die Subprozesse Sicherung, Inspektion, Wartung, Dokumentation und Abnahme und können als Prozesskette dargestellt werden (siehe auch Kapitel 3.2.2). Als Sicherung werden Maßnahmen für die Vorbereitung von Wartungsarbeiten verstanden. Diese sind gemäß den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen (RSA) durchzuführen. Die Inspektion beschreibt gemäß DIN 31051 [23] die Prüfung der Eigenschaften eines Zielobjekts auf Konformität, welche gemäß EABT-80/100 unter anderem die Sicht- und Funktionsprüfung sowie ggf. eine Ursachensuche bei Abweichungen vom Soll-Zustand beschreibt. Davon abzugrenzen ist der Wartungsprozess, der gemäß DIN 31051 [23] alle Maßnahmen umfasst, die einem vorzeitigem Verschleiß entgegenwirken sollen (bspw. Reinigung, planmäßiger Austausch einzelner Verschleißteile, Ersetzen oder Nachfüllen von Betriebsstoffen). Diesbezüglich wird der beauftragte Dienstleister im Rahmen des Instandhaltungsvertrages in der Regel dazu verpflichtet, die Lieferung, Bereitstellung und Lagerung von Ersatzmaterial, Fahrzeugen und Werkzeugen zu organisieren und ggf. mit dem Auftraggeber abzustimmen.

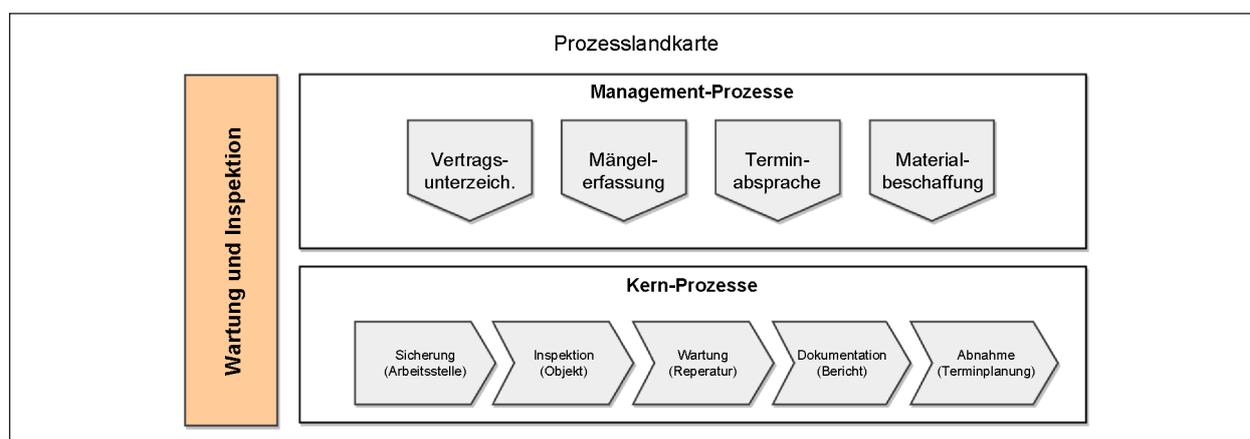


Bild 5-6: Vereinfachte Prozesslandkarte für „Wartung und Inspektion“

Sowohl die Wartung als auch die Inspektion sind stringent zu dokumentieren und werden in den Arbeitskarten vor Ort bzw. im entsprechenden Bericht vermerkt. Darüber hinaus sind alle Kontrollen, Überprüfungen und Eingriffe mit Angabe von Datum, Uhrzeit sowie Namen des ausführenden Wartungspersonals im Betriebsbuch einzutragen (siehe AP 2: Betreiberanforderungsanalyse). Die Abnahme erfolgt mit eingereichtem Bericht und einer ausstehenden Terminplanung, welche sich grundsätzlich an den vertraglich vereinbarten Wartungsintervallen orientiert. Der Prozess wird in der Regel durch die vertraglich vereinbarten Wartungsintervalle initiiert.

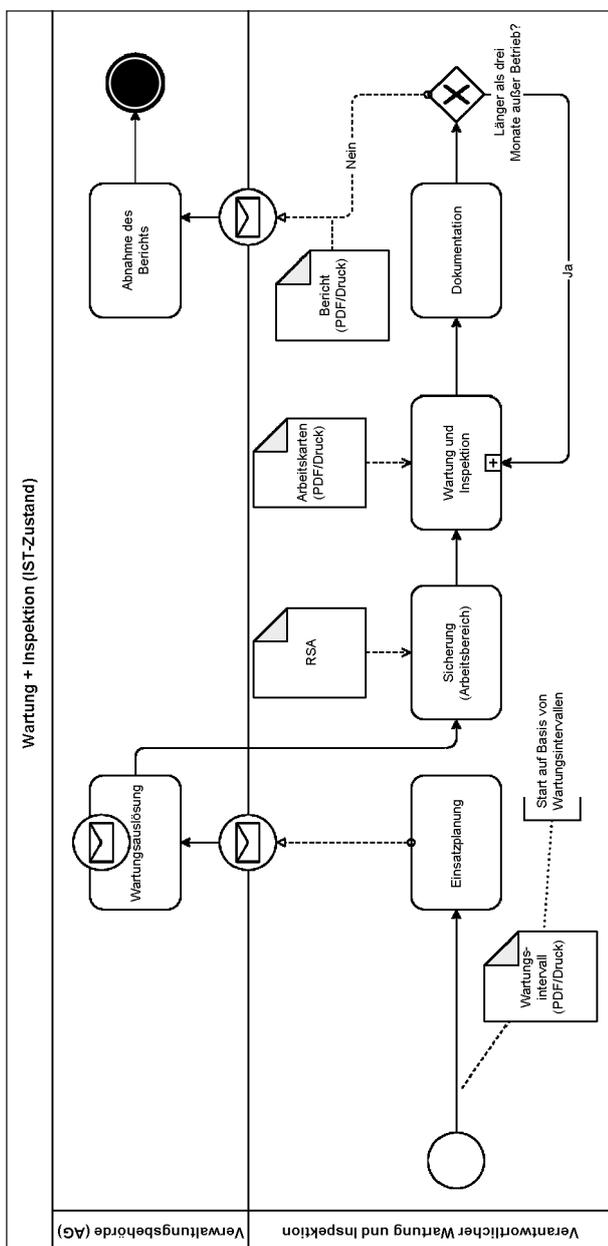


Bild 5-7: Prozessdiagramm „pm_wartung_Intervall“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den IST-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.

Konventionelle Wartung und Inspektion

Das in Bild 5-7 skizzierte Prozessdiagramm zeigt die sequenzielle Abfolge der einzelnen Teilprozesse der beteiligten Akteure sowie die konkreten Übergabepunkte des Informationsaustauschs zwischen Verwaltungsbehörde und Wartungsfirma. Resultierend aus den betrieblichen Randbedingungen, welche im Rahmen der Betreiberanforderungsanalyse identifiziert wurden, sind folgende Dokumente für den Austausch zwischen den Akteuren zu berücksichtigen:

- Instandhaltungsvertrag + Anhang
- Abstimmung für Einsatzplanung
- Wartungsauftrag
- Bericht + Betriebsbucheintrag
- Arbeitskarten

Bei dem Austausch zwischen Verwaltungsbehörde und Wartungsfirma werden gemäß den Ergebnissen der Expertenbefragungen bislang gedruckte Dokumente und telefonische Absprachen verwendet (eventuell auch E-Mail-Benachrichtigungen).

Eine Einsatz- und Terminplanung erfordern die Abstimmung mit dem Auftraggeber, welche schriftlich und/oder telefonisch zu vereinbaren ist. Die durchzuführenden Leistungen während der Wartung und Inspektionen sind in den Arbeitskarten festgelegt. Eine Arbeitskarte ist als Checkliste aufgebaut und erfordert eine schrittweise Bearbeitung und Schriftführung, welche vom Personal direkt und vor Ort auszufüllen ist und im Zuge des zu erstellenden Berichts dem Auftraggeber zu übergeben ist.

BIM-basierte Wartung und Inspektion

Im Gegensatz zum IST-Zustand wird bei einer BIM-basierten Wartung und Inspektion die Wartungsauslösung zu einem Bereitstellungsverfahren seitens des Auftraggebers, d. h. im Zuge einer anstehenden Wartung und Inspektion werden die erforderlichen Informationen dem Auftragnehmer zur Verfügung gestellt. Der wesentliche Unterschied des BIM-basierten Prozesses besteht im Informationsgehalt des Auftrags zur Wartung und Inspektion. Dieser setzt sich in diesem Fall aus einem für Leistungen im Rahmen der Wartung und Inspektion angereichertem BIM-Modell und einer schematischen Vorlage zur Erstellung von Arbeitskarten zusammen.

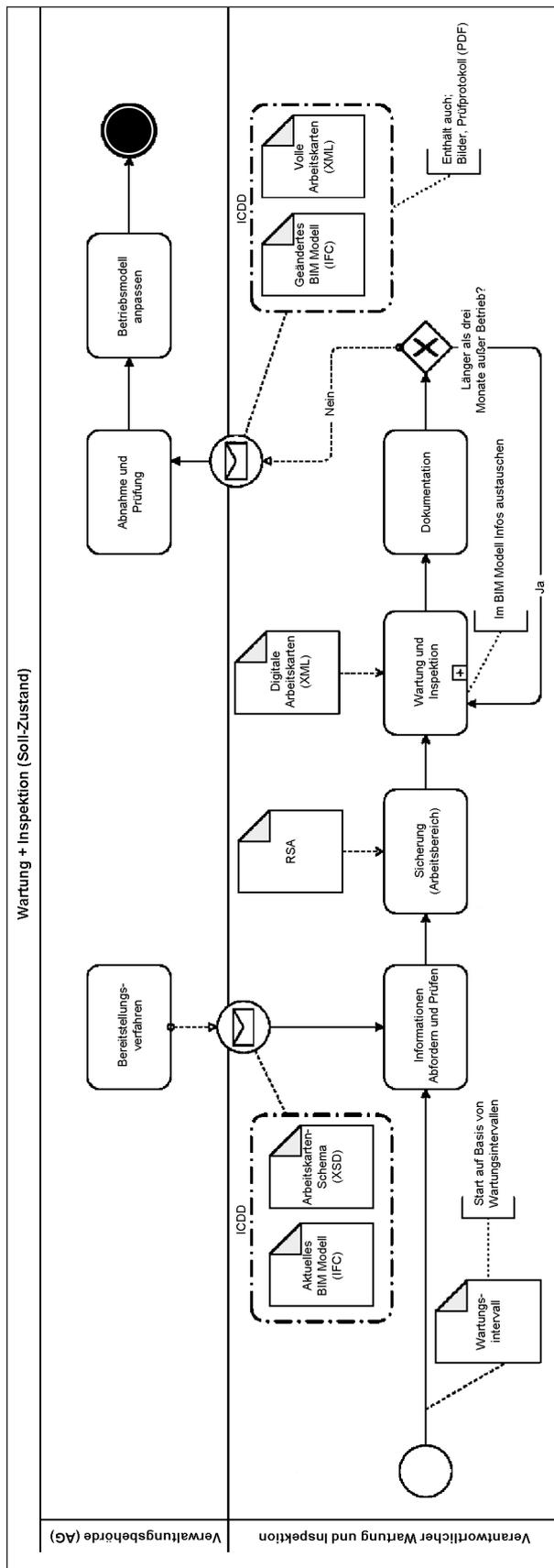


Bild 5-8: Prozessdiagramm „pm_wartung_ICDD“ für die Durchführung von BIM-basierter Wartung und Instandhaltung, symbolisiert den SOLL-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.

men. Ebenso ändert sich bei der BIM-basierten Wartung und Inspektion die Erwartung an den abschließenden Arbeitsbericht. Dieser kann ein aktualisiertes BIM-Modell und die dazugehörigen ausgefüllten Arbeitskarten beinhalten. Die neuen Informationen können dann seitens der Verwaltungsbehörde in ein Betriebsmodell übernommen und entsprechend archiviert werden.

Es wird somit deutlich, dass sich der Informationsaustausch zwischen den Akteuren bei der BIM-basierten Wartung und Inspektion auf die Abstimmung im Rahmen der Wartungsauslösung sowie die Abnahme und Prüfung der Leistung anhand des Arbeitsberichts mit den entsprechenden Arbeitskarten beschränkt.

Austauschanforderungen für die Wartung und Inspektion

Bild 5-9 zeigt den Aufbau einer Arbeitskarte, die beim Branichtunnel eingesetzt wird. Die Analyse weiterer Arbeitskarten im Vergleich mit dieser haben gezeigt, dass diese Karten allgemein einem generellen, schematischen Aufbau folgen und die exemplarische Karte des Branichtunnels daher als Muster angesehen werden kann. Arbeitskarten beinhalten in der Regel eine Beschreibung des Zielobjekts in der sog. Kopfzeile. Leistungen, welche je nach Wartungsintervall durchzuführen sind, werden listenartig dargestellt. Zudem enthält jede Arbeitskarte eine Tabelle für die Signatur des Personals, sowie eine Tabelle für Bemerkungen.

Dieser Aufbau lässt sich in ein entsprechendes XML-Format überführen. Zusammenfassend zeigt Bild 5-10 eine Visualisierung des XSD-Schemas für Arbeitskarten.

Eine Überführung der Arbeitskarten in ein entsprechendes XML-Format ist nicht zwingend zur Verknüpfung mit einem BIM-Modell notwendig, ermöglicht jedoch eine computergestützte Auswertung der Arbeitskarten (bspw. Visualisierungen, Erstellen von Listen etc.) im Vergleich zum PDF-Format, welches in der Anwendung unstrukturierte Informationen liefert und daher keinen substantiellen Gewinn im Vergleich zu händisch verfassten Arbeitskarten bedeutet.

Die Zusammenstellung der erforderlichen Informationen in Form der LOIN-Beschreibung (siehe Kapitel 5.1.2) befindet sich in Anhang 2-2.

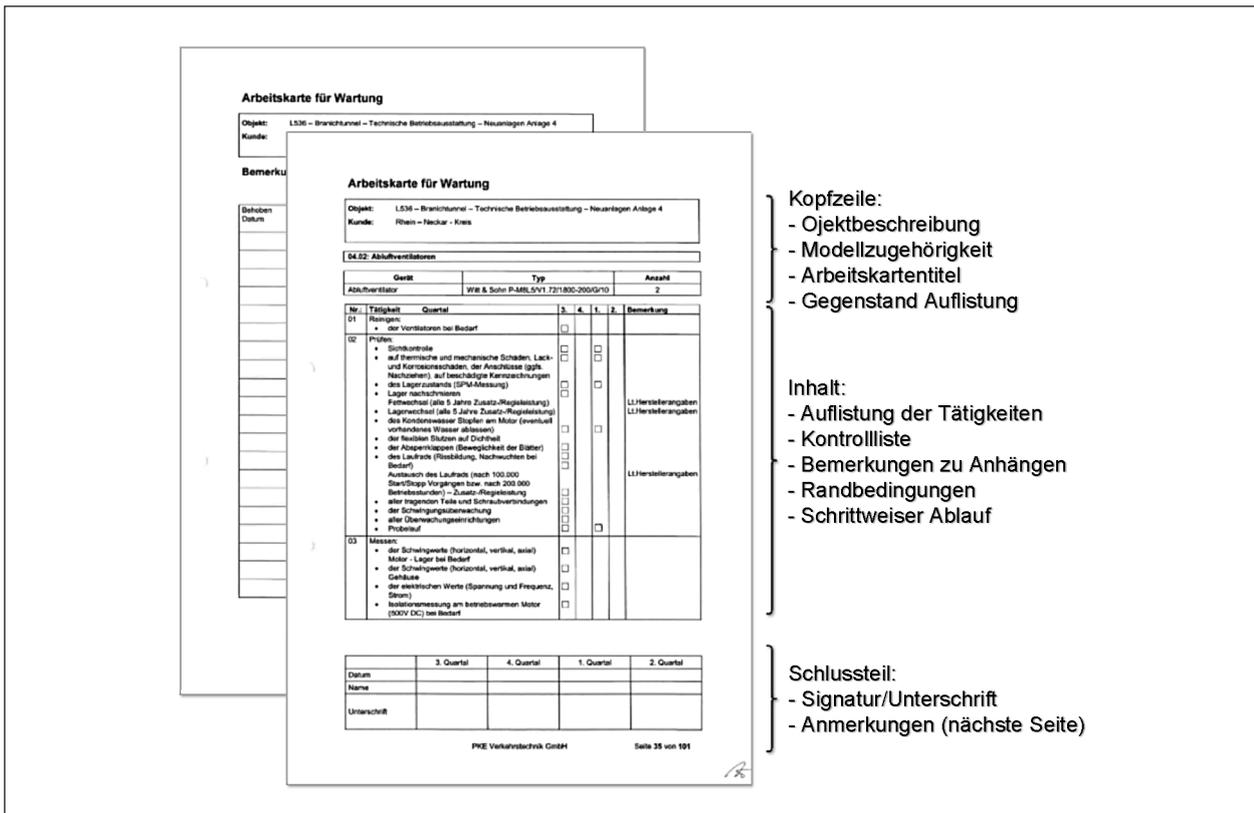


Bild 5-9: Strukturierung einer Arbeitskarte

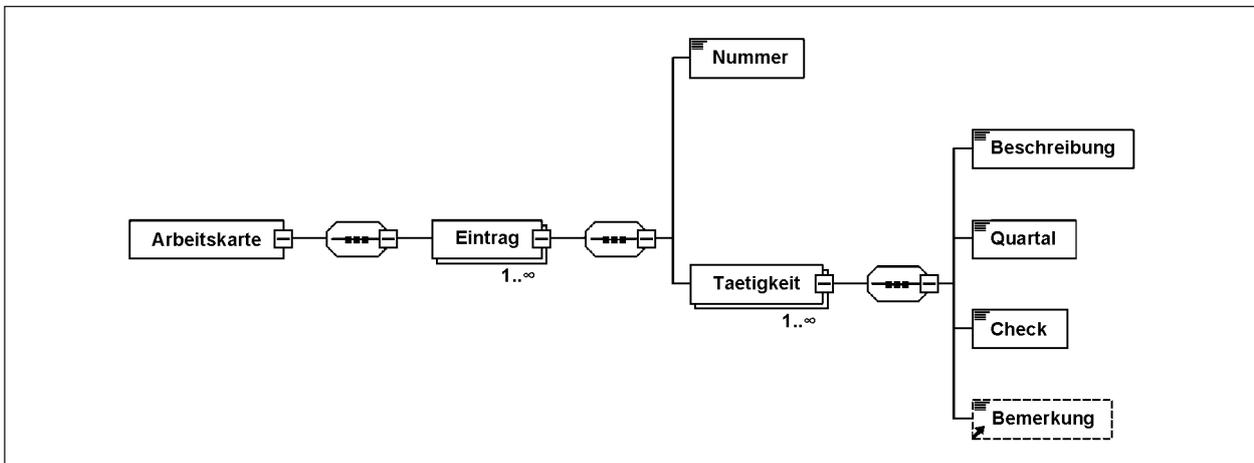


Bild 5-10: Visualisierung des XSD-Schemas für Arbeitskarten

5.2.3 Störungsbeseitigung

Das Erkennen von Störungen und das Einleiten von entsprechenden Maßnahmen zur Störungsbeseitigung ist ein Teilprozess im Zuge der Tunnelüberwachung (siehe auch Kapitel 3.2.3). In der Praxis wird die Störungsbeseitigung für die betriebstechnische Ausstattung in der Regel von der Wartungsfirma durchgeführt, die unter anderem auch für die Wartung und Inspektion verantwortlich ist. Anforderun-

gen und Pflichten von Auftragnehmer und Auftraggeber bezüglich der Störungsbeseitigung (bspw. Dauer bis zum ersten Montageeinsatz je nach Priorität) sind in der Regel im Instandhaltungsvertrag festgelegt.

Bild 5-11 zeigt eine Übersicht der Störungsbeseitigung in Form einer Prozesslandkarte mit der Unterscheidung zwischen Managementprozessen, welche die Steuerung der Kernprozesse organisiert.

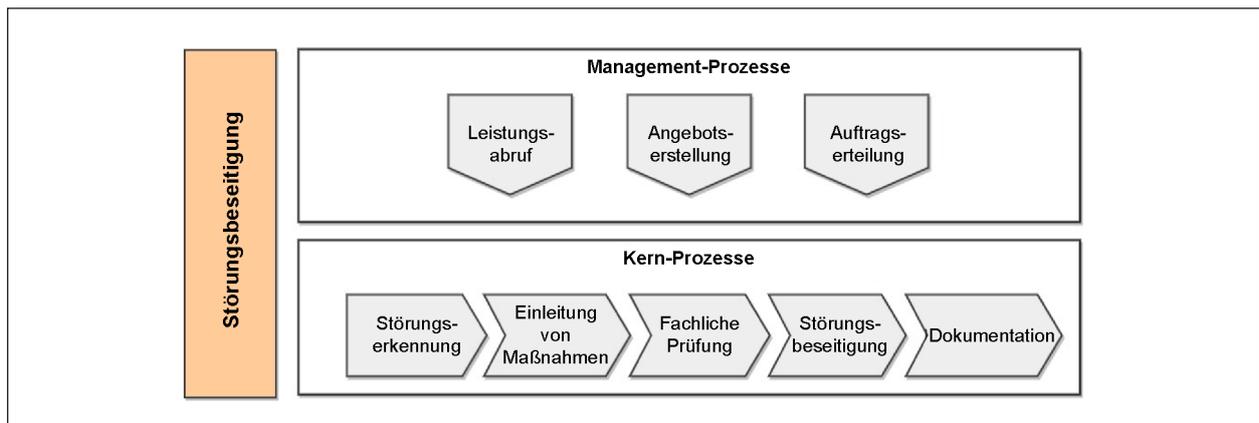


Bild 5-11: Vereinfachte Prozesslandkarte für „Störungsbeseitigung“

Diesen stellen wiederum die eigentlichen Tätigkeiten zur Erbringung der erforderlichen Leistung dar. Ergänzend dazu werden unterstützende Prozesse bzw. Systeme für die Durchführung bzw. Organisation der Kernprozesse dargestellt.

Der abgebildete Prozess ist den Festlegungen zum Verfahrensablauf zur Störungsbeseitigung bei Straßentunneln im Verantwortungsbereich der Autobahndirektion Nordbayern entnommen [77]. Demnach lassen sich die Kernprozesse in die Subprozesse Störungserkennung, Einleitung von Maßnahmen, fachliche Prüfung (zwecks Freigabe durch die Verwaltung), Störungsbeseitigung und Dokumentation gliedern.

Die Störungserkennung kann direkt über Störungsmeldungen durch die Leittechnik erfolgen, woraufhin in der Tunnelbetriebsstelle entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können. Weitere mögliche Kommunikationswege sind in der Regel die Erkennung von Störungen und Schäden im Zuge der Wartung und Inspektion sowie die Mitteilung durch Dritte (bspw. Tunnelnutzer, Polizei etc.). Die Einleitung von Maßnahmen erfolgt beim referenzierten Verfahrensablauf der Autobahndirektion Nordbayern sowohl durch einen formlosen Leistungsabruf (z. B. telefonisch) bei der verantwortlichen Organisation als auch im Zuge einer förmlichen Bestätigung (schriftlich). Daraufhin sind von der verantwortlichen Organisation ein Angebot bzw. eine Kostenaufstellung einzureichen. Bei Kosten über einem bestimmten Betrag (hier 500 €) ist die Maßnahme von der Autobahnmeisterei mit verschiedenen Organisationseinheiten (Tunnelmanager, Verwaltungsbehörde, Tunnelbetriebsstelle) abzustimmen bzw. es erfolgt eine fachliche Prüfung. Im Anschluss kann eine Zustimmung über den Einzelauftrag erfolgen und die Vertragsfirma stellt die

Anlagensicherheit bzw. Verfügbarkeit wieder her. Wird die Kostengrenze nicht überschritten, kann direkt eine Zustimmung erfolgen. Die Dokumentation erfolgt in der Regel, vergleichbar mit der Wartung und Inspektion, sowohl durch einen Arbeitsbericht als auch durch einen Eintrag ins Betriebsbuch.

Konventionelle Störungsbeseitigung

Das in Bild 5-12 skizzierte Prozessdiagramm zeigt die sequenzielle Abfolge der einzelnen Teilprozesse der beteiligten Akteure (hier: Verwaltungsbehörde und Fachfirma) sowie die konkreten Übergabepunkte des Informationsaustausches. Resultierend aus den betrieblichen Randbedingungen, welche im Rahmen der Betreiberanforderungsanalyse identifiziert wurden, sind folgende Dokumente für den Austausch zu berücksichtigen:

- Arbeitsbericht der letzten Wartung
- Störmeldungen der Leittechnik
- Mitteilungen durch Dritte
- Leistungsabruf
- Angebot/Kostenaufstellung
- Schriftliche Zustimmung
- Arbeitsbericht

Im Gegensatz zum Prozess „Wartung und Inspektion“ ist die Störungsbeseitigung in der Regel kein Ereignis, das planmäßig ausgelöst wird. Dennoch ist zur Gewährung der Sicherheit von Tunnelnutzern sowie für die Aufrechterhaltung einer hohen Verfügbarkeit ggf. eine zeitnahe Störungsbeseitigung erforderlich. Somit sind auf der einen Seite notwendige bzw. unterstützende Störungsinforma-

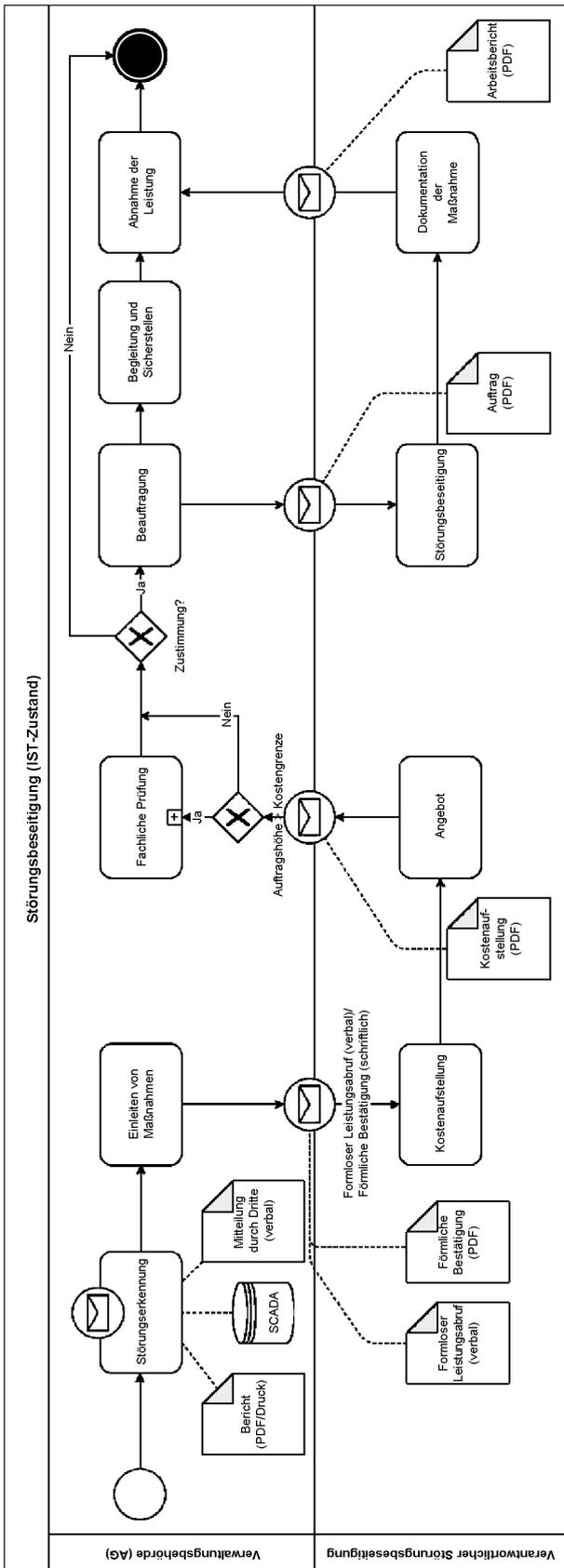


Bild 5-12: Prozessdiagramm „pm_stoerungsbeseitigung_maßnahmeneinleitung“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den IST-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.

tionen zwecks Maßnahmeneinleitung von der Verwaltungsbehörde zur Verfügung zu stellen, als auch die erfassten Informationen im Zuge der Störungsbeseitigung entsprechend zu dokumentieren.

Hinsichtlich des Störungsmanagements können dabei Ticketsysteme angewendet werden, welche die Kommunikation zwecks Störungsbeseitigung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinfachen. Im Rahmen der Analyse der betrieblichen Randbedingungen (siehe Kapitel 3.2.2) wurde hier ein Bedarf bei den Betreibern analysiert, wobei Ticketsysteme derzeit zwar Anwendung finden, aber noch nicht ausgereift sind und gemäß einzelner Betreiberaussagen eine stärkere digitale Vernetzung erfordern. Die Implementierung eines Ticketsystems in eine BIM-orientierte Betriebsphase wird hierfür als vorteilhaft betrachtet.

BIM-basierte Störungsbeseitigung

Im Vergleich zum IST-Zustand ändert sich der Prozess der Maßnahmeneinleitung dahingehend, dass nach Erkennung der Störung ein Ticket mit den relevanten Störungsinformationen (siehe unten) ausgelöst wird. Das Ticket übernimmt hier die Funktion des Leistungsabrufs und kann zusammen mit dem aktuellen BIM-Modell (im IFC-Format) in Form eines ICDD-Containers der verantwortlichen Fachfirma bereitgestellt werden.

Eine Möglichkeit zur modellbasierten Kommunikation bietet dabei das BIM Collaboration Format (BCF), welches derzeit insbesondere im Bereich des Kollisionsmanagements umgesetzt wird. Das Format basiert dabei auf der Auszeichnungssprache XML.

Beim Austausch (hier: dateibasiert) wird ein ZIP-Container generiert (*.bcfzip), in dem sich u. a. das Markup (engl.: Auszeichnungsdatei) befindet. Diese beinhaltet den Header (dt.: Kopfzeile), welche Informationen bezüglich des verknüpften IFC-Modells sowie das Datum der Erstellung der BCF-Datei beinhaltet. Des Weiteren werden Informationen zu jeweiligen Topics (dt.: Themen) angegeben, die eine eindeutige Zuordnung des Themas ermöglichen. Zudem beinhaltet die Zeile Comment (dt.: Kommentar) Kommentarinformationen. In einer separaten XML-basierten Datei werden Informationen die Ansicht des betrachteten Objekts im ZIP-Ordner (*.bcfv) abgespeichert. Darin sind unter anderem die sogenannten „Globally Unique Identifier“ (GUID) als 128-bit-Schema hinterlegt, welche jedem Objekt

eindeutig via eines Hexadezimalcodes zuordnen, sowie die Kameraperspektive in Form eines dreidimensionalen Vektors.

In der praktischen Anwendung (siehe Bild 5-13, oben) kann über ein Tool (hier: Apstex IFC Frame-

work [78]) eine Ansicht des Modells mit entsprechenden Informationen für die Kommunikation (bspw. Titel, Autor, Typ, Kommentar) erzeugt werden. Daraufhin wird ein entsprechendes Ticket für das Modell erzeugt (siehe Bild 5-13, unten).

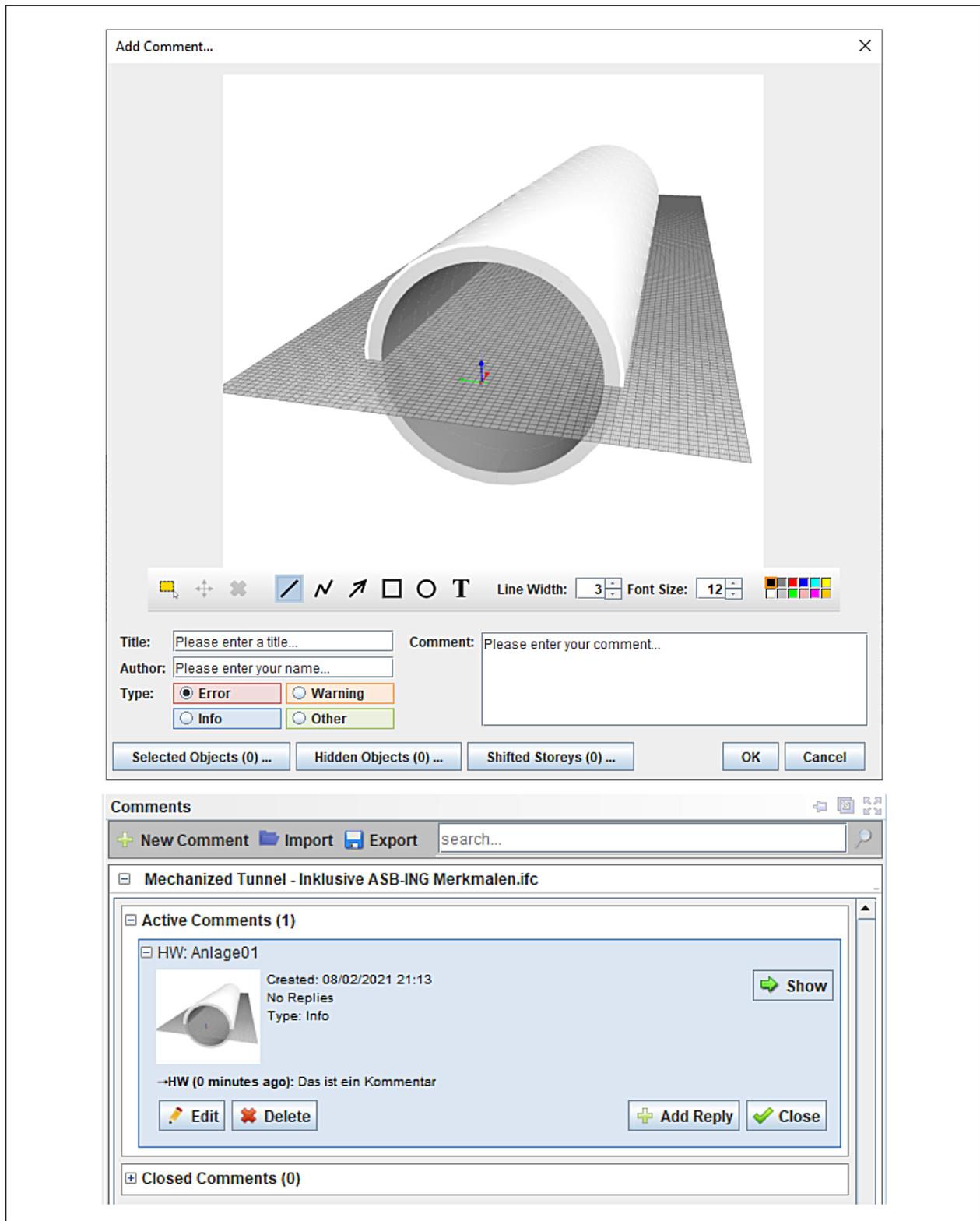


Bild 5-13: Erstellung eines BCF-Tickets mit Apstex IFC Framework (oben), erzeugtes Ticket (unten)

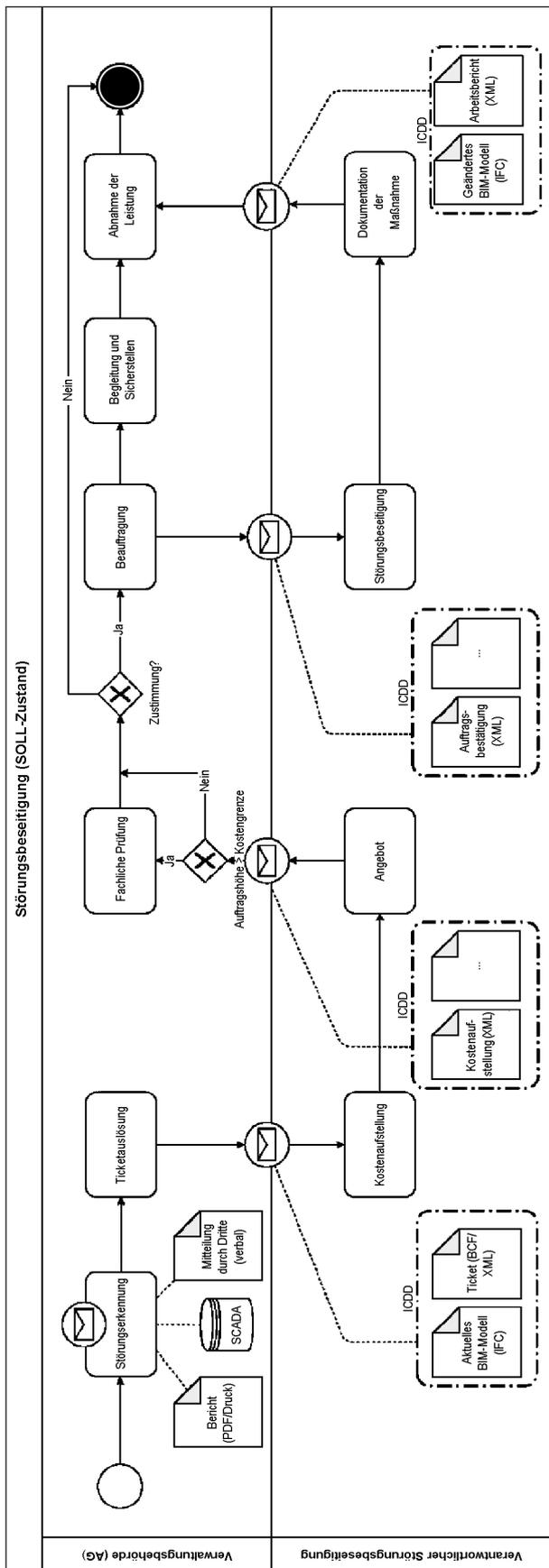


Bild 5-14: Prozessdiagramm „pm_stoerungsbeseitigung_ticket“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den SOLL-Zustand.

Während der Prozessdurchführung können mithilfe des ICDD-Containers weitere wesentliche Dokumente ausgetauscht werden (hier Kostenaufstellung und Auftragsbestätigung). Nach Abschluss der Maßnahme wird das geänderte BIM-Modell sowie der Arbeitsbericht und eine abschließende Ticketbenachrichtigung gesendet. Zwecks Standardisierung und verbesserten Auswertung basierend auf dem BIM-Modell, empfiehlt es sich, dass der Arbeitsbericht in leerer Form ebenfalls von der Verwaltungsbehörde als Dokument über einen ICDD-Container ausgetauscht wird.

Der wesentliche Informationsaustausch zwischen den Akteuren, welcher über die ICDD-Container organisiert wird, beinhaltet hierbei sowohl das Ticket, welches die wesentlichen Störungsinformationen transportiert, sowie Dokumente zur Abwicklung der erforderlichen Leistungen. Nachfolgend werden insbesondere die Informationsaustauschanforderungen bezüglich des zu erstellenden Tickets als zentraler Gegenstand der BIM-basierten Störungsbeseitigung definiert.

Austauschanforderungen für die Störungsbeseitigung

In dem Ticket, welches von der Verwaltungsbehörde bzw. dem verantwortlichen Akteur in der Tunnelbetriebsstelle erstellt wird, sollen in der Regel alle notwendigen Informationen bezüglich der Störung enthalten sein. Auf der anderen Seite sollte dies jedoch auch übersichtlich und einfach zu verstehen sein.

Als Referenz zur Ableitung des Informationsbedarfs wurde die Struktur bzw. der Inhalt der Mängel- und Störungsliste herangezogen, die beim Branichtunnel zum Einsatz kommt. Die Liste wird dort als Excel-Tabelle geführt und ist so strukturiert, dass einzelnen Objekten mit Angabe des zugehörigen Gewerks bzw. Orts, entsprechende Informationen zu Störungen, Mängeln und/oder Restarbeiten zugeordnet werden können. Die Informationen können folgendermaßen zusammengefasst werden (siehe Tabelle 5-1).

Wie oben bereits erwähnt, kann zur Organisation der modellbasierten Kommunikation BCF angewendet werden. Grundsätzlich muss dabei beachtet werden, dass es sich hier um einen buildingSMART Standard handelt und es nicht vorgeesehen ist, Informationen (insbesondere für die Betriebsphase von Straßentunneln) zu erweitern. Je-

Information	Art der Darstellung	Beispiel
Beschreibung	Freier Text	#keine Rückmeldung bei Auslösung auf ZLT
Art	Aufzählung	M: Mangel S: Störung R: Regie/ Zusatzleistung
Datum der Feststellung	Datum	16.07.2016
Name der Person (Feststellung)	Freier Text/ Aufzählung	M. Mustermann
Verantwortliche Organisation	Freier Text/ Aufzählung	Fa. Tunnel-Fit
Status	Aufzählung	Offen/erledigt
Bemerkung	Freier Text, ggf. farbliche Zuordnung d. Verfassers	Bedarf prüfen
Stellungnahme	Freier Text	wird abgelehnt

Tab. 5-1: Zusammenstellung der Informationen zwecks (Mängel- bzw.) Störungsbeseitigung

doch ist basierend auf BCF eine Erweiterung zur Anwendung eines Ticketsystems für die Betriebsphase von Straßentunnel möglich. Die entsprechende Umsetzung wurde im Rahmen von Arbeitspaket 5 (Demonstratorbauwerk) überprüft. Hierzu verweisen wir an dieser Stelle auf die Ausführungen des Kapitels 8.

Die Zusammenstellung der erforderlichen Informationen in Form der LOIN-Beschreibung (siehe Kapitel 5.1.2) befindet sich in Anhang 2-3.

5.2.4 Bauwerksprüfung

Die Durchführung von Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken ist normativ durch die DIN 1076 [44] geregelt und ein wesentlicher Bestandteil der Erhaltung zur Erfassung von Informationen zum Bauwerkszustand (Datengrundlage für das Bauwerks-Management-System [46]). Inhaltliche Anforderungen an die Dokumentation werden in der „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ (RI-EBW-PRÜF) [45] definiert. Darüber hinaus sind grundlegende Voraussetzungen für die Bauwerksprüfung die aktuellen Bauwerksdaten gemäß „Anweisung Straßeninformationsbank – Teilsystem Bauwerksdaten“ (ASB-ING) [6] sowie die Übergabe des Bauwerksbuches (siehe auch DIN 1076).

Ergänzende Hinweise, insbesondere zur Organisation von Bauwerksprüfungen, werden in der Dokumentation „Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Organisation, Kosten“ [56] vom BMVI zur Verfügung gestellt. Demnach sind sowohl für die Überwachung als auch für die Überprüfung unterschiedliche Organisationseinheiten verantwortlich. Dabei wird gemäß der Dokumentation zur Bauwerksprüfung [56] empfohlen, dass Organisationen, welche für die Beseitigung der festgestellten Mängel und Schäden verantwortlich sind, im Rahmen der Prüfung mit einbezogen werden.

Die betrieblichen Randbedingungen hinsichtlich der Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung sind in Kapitel 3.2.1 genauer erläutert. Nachfolgend wird der Prozess der Bauwerksprüfung und dessen Implementierung in eine BIM-basierte Umgebung analysiert. Hierbei ist anzumerken, dass die Bauwerksprüfung sowohl als Eigenleistung der Verwaltungsbehörde in Kooperation mit den angegliederten Meistereien durchgeführt werden kann, jedoch auch Fremdvergaben möglich sind. Die Rollen bzw. Akteure im nachfolgenden Prozess sind diesbezüglich ggf. entsprechend anzupassen, der Informationsaustausch wird durch die Art der Vergabe jedoch nicht maßgeblich beeinflusst.

Bild 5-15 zeigt eine Übersicht der Bauwerksprüfung in Form einer Prozesslandkarte mit der Unterscheidung zwischen Managementprozessen, welche die Steuerung der Kernprozesse organisiert. Diesen stellen wiederum die eigentlichen Tätigkeiten zur Erbringung der erforderlichen Leistung dar. Ergänzend dazu werden unterstützende Prozesse für die Durchführung bzw. Organisation der Kernprozesse dargestellt.

Der abgebildete Prozess ist der beispielhaften Beschreibung zum Verfahrensablauf der Bauwerksprüfung im Bundesland Hessen aus der Dokumentation zur Bauwerksprüfung [56] entnommen. Die Kernprozesse lassen sich in die Subprozesse Einsatzplanung, Verkehrssicherung, Schadenserfassung, Schadensbewertung, Dokumentation und Empfehlungen gliedern, welche maßgeblich vor Ort von sog. Prüfteams (i. d. R. 1 Ingenieur + 1 Techniker) ausgeführt werden. Im Rahmen der Einsatzplanung erfolgt unter anderem die Übergabe aller erforderlichen Bauwerksunterlagen als auch Abstimmungen – i. d. R. mit den angegliederten Meistereien – hinsichtlich der erforderlichen Ausstattung zur Bauwerksprüfung als auch bezüglich der Verkehrssicherung gemäß „Richtlinie für die Sicherung von

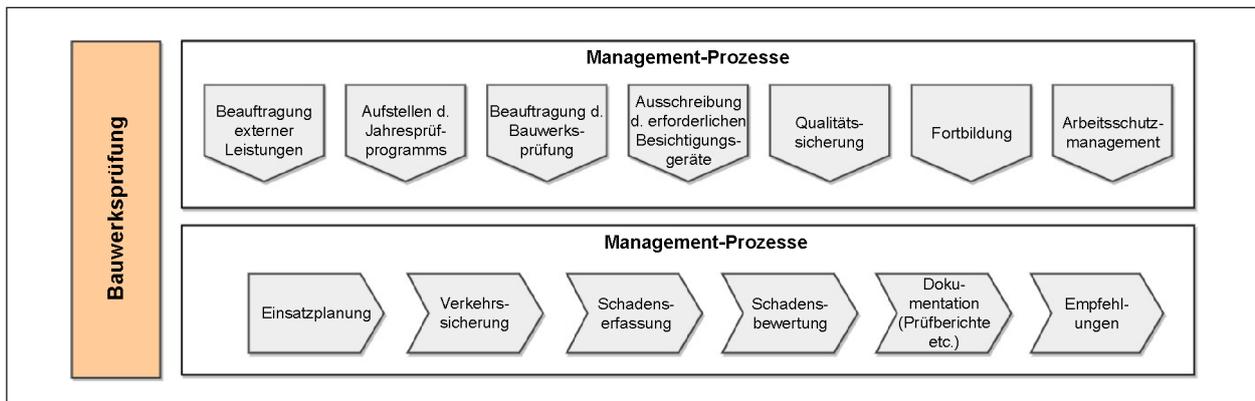


Bild 5-15: Vereinfachte Prozesslandkarte für „Bauwerksprüfung“

Arbeitsstellen“ (RSA). Die Formulierung von Empfehlungen ist bei der eigentlichen Bauwerksprüfung optional, wird jedoch erforderlich, falls aufgrund komplexer Schäden eine Objektbezogene Schadensanalyse (OSA) notwendig ist. Durch eine Maßnahmenfixierung gemäß ASB-ING [6] werden die Empfehlungen verbindlich. Dabei können Empfehlungen sowohl vom Prüfer im Prüfbericht als auch durch einen Bearbeiter im Rahmen des Erhaltungsmanagements im Zustandsbericht dokumentiert werden.

Konventionelle Bauwerksprüfung

Das im Folgenden skizzierte Prozessdiagramm zeigt die sequenzielle Abfolge der einzelnen Teilprozesse der beteiligten Akteure sowie die konkreten Übergabepunkte des Informationsaustausches zwischen der Verwaltungsbehörde, welche entweder selbst Baulastträger ist oder entsprechende Aufgaben wahrnimmt, und den Prüfteams, welche die Bauwerksprüfung vor Ort durchführen. Resultierend aus den betrieblichen bzw. regulativen Randbedingungen, welche im Rahmen der Betreiberanforderungsanalyse identifiziert wurden (siehe Kapitel 3.2.1), sind folgende Dokumente für den Austausch zwischen den Akteuren zu berücksichtigen:

- Bestandsunterlagen
- Bauwerksdaten
- Vorh. Prüfberichte
- Prüfhandbuch
- Prüfbericht
- Zustandsbericht

Die Übergabe der Dokumente, wie oben erwähnt, erfolgt im Rahmen der Einsatzplanung. Weitere Ab-

stimmungen können in Form von Besprechungen, E-Mail oder telefonisch erfolgen.

Nach abgeschlossener Bauwerksprüfung (ggf. mit objektbezogener Schadensanalyse) sind die aktualisierten Bauwerksdaten in das aktualisierte Programmsystem SIB-Bauwerke zu überführen (u. a. Anforderung gemäß RI-EBW-PRÜF [45]). Die erfassten Informationen bilden dabei die Grundlage für die anschließende Maßnahmenplanung und Maßnahmenausführung, welche dem Erhaltungsmanagement zuzuordnen sind.

BIM-basierte Bauwerksprüfung

Bei der BIM-basierten Durchführung der Bauwerksprüfung ändert sich während der Organisation die Übergabe aller grundlegenden Unterlagen und Informationen im Vergleich zum oben beschriebenen IST-Zustand. Das aktuelle BIM-Modell im IFC-Format mit den entsprechend hinterlegten Bauwerksdaten, sowie ein Prüfprotokoll im XML-Schema (siehe unten) werden über einen ICDD-Container ausgetauscht. Darüber hinaus empfiehlt es sich, auch weitere Dokumente wie das Prüfhandbuch und bereits vorhandene Prüfberichte über den Container zu verwalten.

Nach Abschluss der Bauwerksprüfung sind das geänderte BIM-Modell mit den aktualisierten Bauwerksdaten bzw. Schadensinformationen, sowie die ausgefüllten Prüfprotokolle, der daraus abgeleitete Prüfbericht und der Zustandsbericht der Verwaltungsbehörde bzw. dem Straßenbaulastträger wieder digital zu übergeben. Um die Aktualisierung der Bauwerksdaten auch im Programmsystem SIB-Bauwerke zu gewährleisten (aktuelle Anforderungen, u. a. nach RI-EBW-PRÜF [45]) empfiehlt sich ein automatisierter Austausch über offene Schnittstellen.

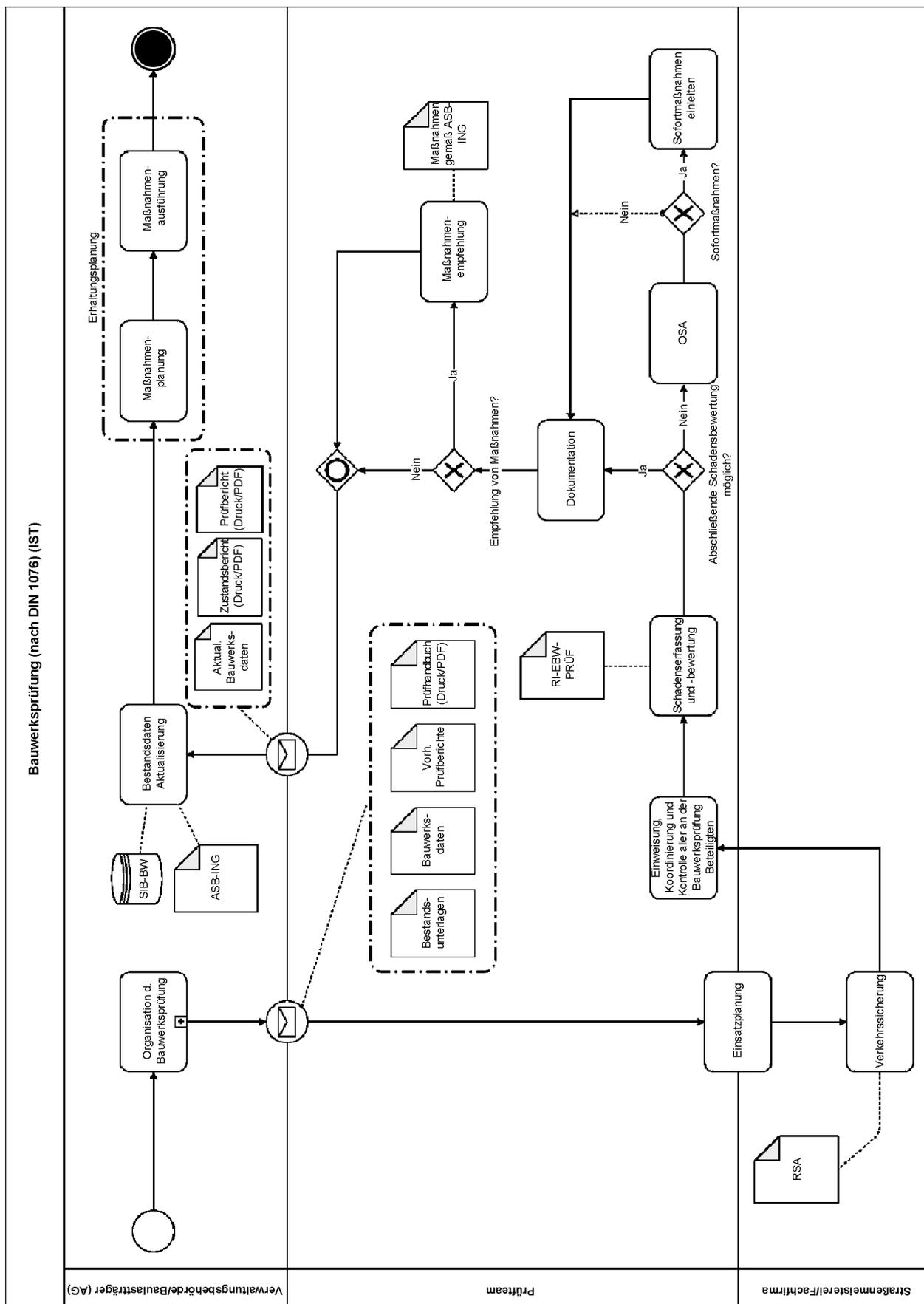


Bild 5-16: Prozessdiagramm „pm_bauwerkspruefung_konventionell“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den IST-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.

Die wesentlichen Anforderungen an den Informationsaustausch für eine BIM-basierte Bauwerksprüfung bezieht sich demzufolge auf die konforme Erfassung und Bewertung von Schäden und Mängel

gemäß RI-EBW-PRÜF [45] bzw. ASB-ING [6]. Nachfolgend werden die daraus resultierenden Austauschforderungen beschrieben.

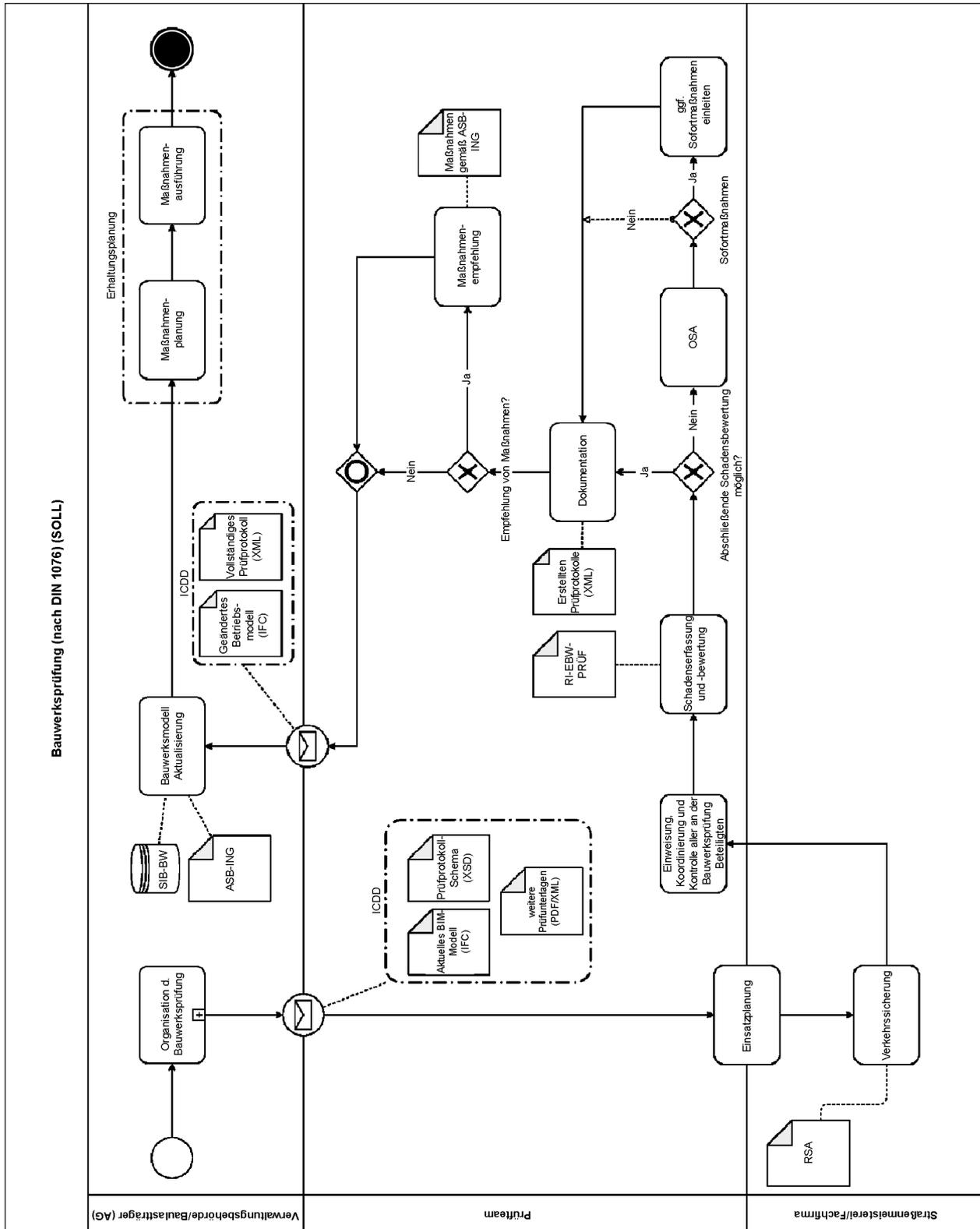


Bild 5-17: Prozessdiagramm „pm_bauwerkspruefung_bim“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den SOLL-Zustand

Austauschanforderungen für die BIM-basierte Bauwerksprüfung

Zentrale Zielstellung der Bauwerksprüfung ist die Aktualisierung der Bauwerksdaten, um daraus ggf. entsprechende Erhaltungsmaßnahmen abzuleiten. Diesbezüglich sind im Rahmen der Prüfung alle Schäden gemäß RI-EBW-PRÜF [45] zu erfassen, hinsichtlich des Bauwerkszustands zu bewerten und ggf. entsprechende Maßnahmen zu formulieren und einzuleiten. Aus den Anforderungen der Richtlinie und in Ergänzung mit der ASB-ING [6], sind die Informationen der Bauwerksprüfung derart konform zu erfassen, dass eine Aktualisierung des Programmsystems SIB-Bauwerke über Schnittstellen automatisiert möglich ist.

Detaillierte Hinweise zu den einzelnen Informationen resultierend aus den regulativen Anforderungen sind in Kapitel 3.3 beschrieben.

Darauf basierend zeigt Bild 5-18 das visualisierte XSD-Schema für das digitale Prüfprotokoll. Die Knoten „Schaden“, „Bauwerkszustand“ und „Maßnahmenempfehlung“ und die zugeordneten Typen sind der neuen ASB-ING [6] entnommen. Das textbasierte XML-Schema (erster Entwurf) ist im Anhang 4 enthalten.

Grundsätzlich unterscheidet sich für die unterschiedlichen Prüfungen (einfache Prüfung, Hauptprüfung) der Umfang, jedoch sind die Informationen im selben Format zu erstellen. Aus dem Prüfproto-

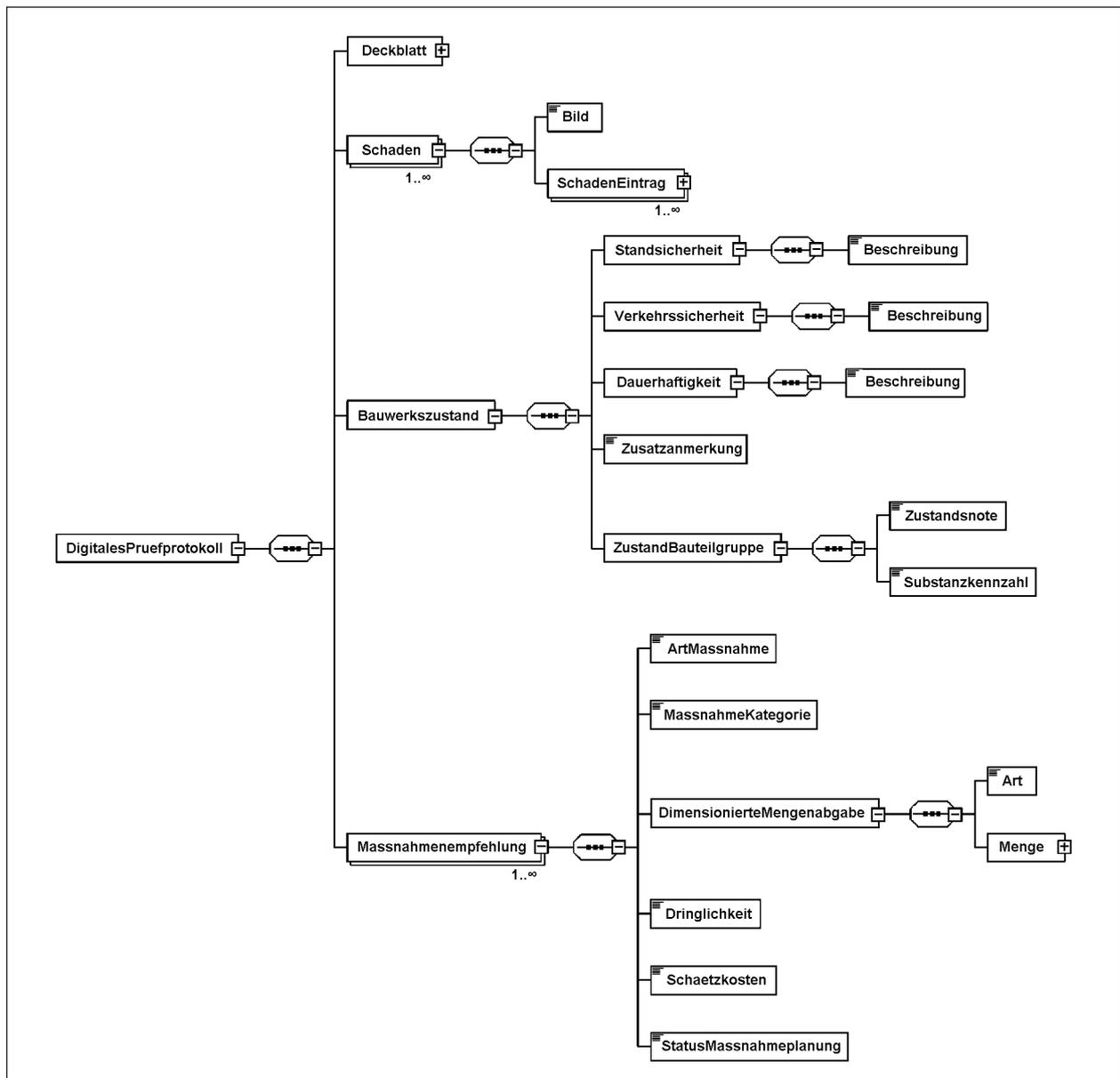


Bild 5-18: Visualisierung des XSD-Schemas für das digitale Prüfprotokoll im Rahmen der Bauwerksprüfung

koll lassen sich wiederum Prüfberichte und Zustandsberichte ableiten. Durch die maschinenlesbare Erfassung der Bauwerksdaten, können diese auch automatisiert in SIB-Bauwerke eingepflegt werden und im Rahmen der Erhaltungsplanung weiter digital verwendet werden.

Die Zusammenstellung der erforderlichen Informationen in Form der LOIN-Beschreibung (siehe Kapitel 5.1.2) befindet sich in Anhang 2-4.

5.3 Hinweise zu den Funktionalen Teilen (Functional Parts)

Das BIM-basierte Modell muss alle wesentlichen Informationen enthalten, die für den jeweiligen Anwendungsfall benötigt werden. Dabei lassen sich insbesondere die Informationen, die nicht direkt am Zielobjekt hinterlegt sind, über ein BIM-basiertes Modell kommunizieren. Zu diesen zählen im Fall von Wartung und Inspektion beispielsweise die Seriennummer, das Prüfdatum sowie Informationen zu den durchgeführten Leistungen wie Prüfung oder Reinigung. Die Informationsanforderungen stellen somit eine Verbindung zwischen Betriebsprozessen (bzw. entsprechenden Anwendungsfällen) und Daten dar und werden im BIM-Modell durch einzelne Modellobjekte und Merkmale umgesetzt, den sog. Functional Parts.

Hinsichtlich der Zusammenstellung bzw. Einteilung der funktionalen Teile wurden sowohl für das konstruktive Tragwerk als auch für die betriebstechnische Ausstattung unterschiedliche Ansätze verfolgt. Nachfolgend werden diese Ansätze entsprechend beschrieben. Eine Zusammenstellung, welche insbesondere für die Umsetzung des Datenmodells relevant ist (siehe Kapitel 6.1), ist in Anhang 3 enthalten.

Funktionale Teile des Tragwerks

Eine grundlegende Strukturierung von Modellobjekten für die Betriebsphase, zur Abbildung des Bauwerks mitsamt Bauteilen und ggf. Ergänzungen wird durch die ASB-ING zur Verfügung gestellt. In der aktuell veröffentlichten Version von 2013 können Bauwerke dabei durch Hauptbauteile, Konstruktionsteile und Bauteilergänzungen beschrieben werden, dessen Typen über offene Schlüssel Tabellen definiert sind und denen entsprechende Bauwerksdaten (Eigenschaften) zugeordnet werden können.

Derzeit wird insbesondere im Hinblick auf die aktuellen Entwicklungen und des zukünftigen Bedarfs für die Bauwerksinformationsmodellierung die Datenstruktur der ASB-ING überarbeitet. Im Rahmen dieses Projekts wurden unter Berücksichtigung dieser Neuentwicklungen entsprechende funktionale Teile für das konstruktive Tragwerk entwickelt.

Funktionale Teile der betriebstechnischen Ausstattung

Unter Berücksichtigung der Betreiberanforderungen wurde bereits im Rahmen der Experteninterviews in AP 2 eine grundlegende Struktur zur hierarchischen Beschreibung der betriebstechnischen Ausstattung entwickelt und auf Grundlage der Experteninterviews (teilweise) validiert. Diese Struktur bietet eine standardisierte Beschreibung und orientiert sich maßgeblich an dem Standard-LV, welches im Rahmen des Forschungsprojektes FE 15.577/2012/ERB [79] entwickelt wurde, sowie den regulativen Anforderungen gemäß Kapitel 3.3 und zentralen Dokumenten des Betriebs (bspw. Arbeitskarten).

Verknüpfung mit Merkmalsgruppen bzw. Merkmalen

In den IFC können einzelne Merkmale über entsprechende Gruppen als Property Sets mit den Modellobjekten verknüpft werden. Der Begriff Merkmale beschreibt die Objekteigenschaften in einem BIM-basierten Modell und definieren den Level of Information (LOI) für spezifische Objekte. Die Merkmalsgruppen bzw. Merkmale sind spezifisch für die betrachteten Prozesse bzw. Anwendungsfälle festzulegen.

Bild 5-19 zeigt die Beziehungen zwischen Dokumenten (hier Arbeitskarten im Rahmen der Wartung + Inspektion der betriebstechnischen Ausstattung), dem BIM-basierten Modell und den Merkmalsgruppen bzw. Merkmalen. Die Modellobjekte fungieren dabei als Informationsträger zwischen den Arbeitskarten und den für den Prozess Wartung + Inspektion benötigten Merkmalen.

Die Modellobjekte fungieren als Informationsträger zwischen den Arbeitskarten und die für die Wartung benötigten Merkmale. Eine Prüfung der vorhandenen Merkmale kann über die sog. Modell View Definition (MVD) realisiert werden. Die Funktionsweise der MVDs und deren Umsetzung am Demonstrator werden in Kapitel 7.3 und in Kapitel 8.4.1 detailliert betrachtet.

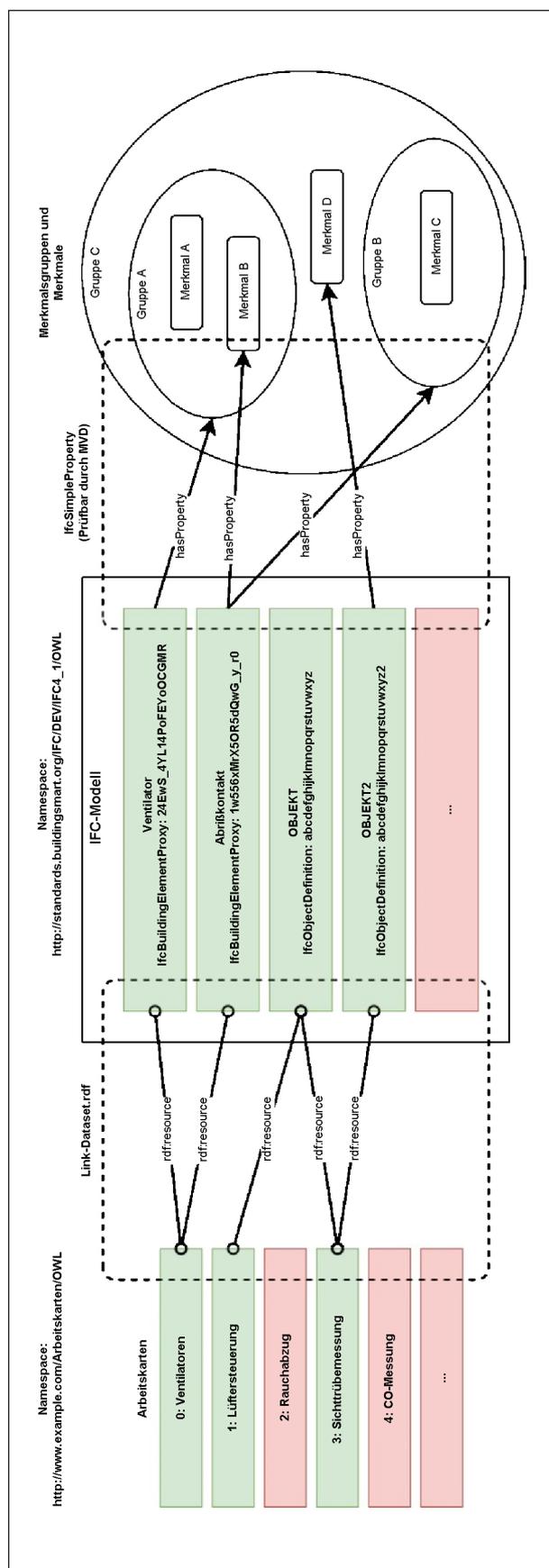


Bild 5-19: Darstellung der Verknüpfung zwischen Arbeitskarten, einem BIM-basierten Modell und Merkmalen/Merkmalgruppen

6 Entwicklung eines Datenmodells basierend auf dem IFC-Standard

Durch die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA wurden unterschiedliche Fachmodelle konkretisiert, welche je nach Anwendungsfall und Projektphase aufeinander aufbauen. Die zur Verfügung gestellten Dokumente enthalten beispielsweise Definitionen für Modelle in der Objektplanung, wie Straßen-, Brücken- und Tunnelmodelle [80]. Die Fachmodelle bauen teilweise aufeinander auf. Demnach wird im letzten Schritt auf Basis des As-built-Modells eine Vereinfachung des Modells vorgenommen und mit Informationen für den Betrieb und Erhaltung des Bauwerks ergänzt, woraus das Betriebsmodell resultiert (siehe Bild 6-1). Das Betriebsmodell enthält per Definition alle notwendigen Informationen zur Durchführung von betriebspezifischen Aufgaben, weshalb dieses Datenmodell die wesentliche Verwendung findet.

6.1 Konzept zur Erweiterung des IFC-Datenformats hinsichtlich der Anforderungen an die Betriebsphase

Für die Umsetzung eines Modells für den Betrieb von Straßentunneln wird auf eine Reihe von externen Unterlagen zurückgegriffen. So dienen bspw. die Empfehlungen und Vorgaben aus der aktuellen ASB-ING [6] als konkrete Grundlage zur Strukturierung des Tunnelbauwerks. Die DAUB-Empfehlungen wurden diesbezüglich ergänzend mit einbezogen [4]. Hinsichtlich der Strukturierung der betriebstechnischen Anlage wurde eine grundlegende Struktur entwickelt, die auf den Erkenntnissen des BAST-Forschungsprojektes FE 15.577/2012/ERB [32] basieren. Darüber hinaus wurden die Funktionsblöcke bzw. Objektgruppen gemäß EABT-80/100 [24] bzw. RABT 2006 [25] für eine übergeordnete Struktur von Objektgruppen

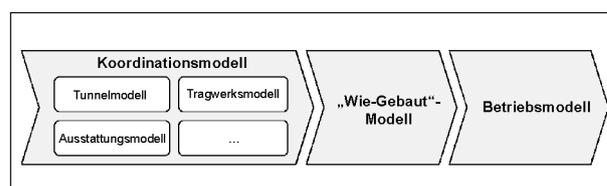


Bild 6-1: Einordnung des Betriebsmodells nach der Strukturierung der Fachmodelle aus BIM4INFRA

(betriebstechnische Anlagen) verwendet und teilweise auf Grundlage der Arbeitskarten und Anmerkungen im Rahmen der Experteninterviews ergänzt.

Spezifische Merkmale wurden für das konstruktive Tragwerk (und Teile der betriebstechnischen Anlagen) ebenfalls aus der ASB-ING abgeleitet. Hinsichtlich der Instandhaltung der betriebstechnischen Anlagen wurden zudem Merkmale aus gültigen Empfehlungen, Regelwerken, Richtlinien und Merkblättern wie die ZTV-ING Teil 5 [69], den EABT-80/100 [24] bzw. der RABT 2006 [25], dem M KWPT [26] sowie der RI-BWD-TU [47] abgeleitet.

Die Merkmale, welche im Rahmen dieses Projektes erfasst wurden, beziehen sich dabei auf die betrachteten Prozesse und ihren Informationsaustausch (siehe Kapitel 6.1.5) und sind in entsprechende Kataloge überführt worden.

6.1.1 Allgemeine Hinweise zum Datenmodell

Um Modelle maschinenlesbar und auswertbar zu definieren, werden Modellierungsschemata verwendet, welche die objektorientierte Abbildung eines Bauwerks ermöglichen. Insbesondere die Standards OKSTRA (Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen) oder IFC (Industry Foundation Classes) ermöglichen es bereits umfangreich Modelle zu definieren. Im BIM-basierten Ansatz wird solch ein Modell im gesamten Lebenszyklus des Bauwerks verwendet, um als ganzheitliche, informationstragende Datenquelle bereitzustellen. Insbesondere die IFC werden seit einigen Jahren auf internationaler Ebene als wesentliches Werkzeug für den BIM-basierten und heterogenen Austausch von Datenmodellen in einer Vielzahl von Anwendungen unterstützt.

Ursprünglich standen bei dem Entwurf des IFC-Standards Bauwerke aus dem Hochbau im Vordergrund, sowie die Abbildung der Prozesse aus der Planungs- und Ausführungsphase. Aktuell werden von buildingSmart International (bSI) im Rahmen einer Arbeitsgruppe IFC-Tunnel die Grundlagen für die Modellierung von Tunnelbauwerken erarbeitet [81]. Aktuelle Entwicklungen von IFC-Tunnel wurden im Rahmen der Entwicklung des Datenmodells berücksichtigt.

Das Schema „S_Bauwerke“ des OKSTRA-Standards ist im Zuge der Überarbeitung der ASB-ING angepasst worden (siehe Änderungsantrag A142 [82] und Dokument N184 [83]). Dabei wurden Klas-

sen und Relationen teilweise neu definiert, insbesondere im Hinblick auf die Kompatibilität mit der BIM-Methodik. Nachfolgend wird maßgeblich das neue Datenmodell der ASB-ING [70] (noch nicht veröffentlicht) berücksichtigt. Dies betrifft auch die Ableitung von Merkmalsgruppen und entsprechenden Merkmalen. Ein Merkmalskatalog gemäß ASB-ING 2013 (aktuelle Veröffentlichung) wird im Zuge des BIM-Leitfadens von der DEGES zur Verfügung gestellt [15].

Gemäß dem OpenBIM-Prinzip, mit dem Ziel eines herstellernerneutralen Ansatzes zum kollaborativen und offenen Datenaustausch innerhalb einer BIM-Umgebung, werden die Schemata für Formate wie OKSTRA, IFC und BCF frei zugänglich gestaltet. Für IFC werden multiple Quellen für die Spezifikation von bSI zur Verfügung gestellt, die es ermöglichen eigene Anwendungen zu implementieren und Erweiterungen zu spezifizieren. Zum einen wird IFC als EXPRESS-Schema definiert [84], einer Sprache zur Konstruktion von Produktmodellen in STEP Serialisierung (Standard for the Exchange of Product model data). Die STEP Serialisierung ist gängige Praxis, um Modelle in IFC zu definieren. Zum anderen wird IFC als XML-Schema (XSD) definiert [85], was eine Serialisierung in XML-Formate ermöglicht. Zusätzlich wird mit IFCOWL eine Schnittstelle zur Beschreibung von Relationen und Ressourcen im Kontext des Semantik-Web veröffentlicht, welche die regelbasierte Untersuchung von Bauwerksmodellen begünstigt.

Hinsichtlich der Vielfalt und Flexibilität, wird in diesem Forschungsprojekt IFC als Schema für die Definition der Fachmodelle verwendet. Es ist jedoch anzumerken, dass Ergebnisse dieses Projektes durchaus auf andere Schemata übertragbar sind. Nachfolgend werden die Anforderungen an einen interoperablen Datenaustausch zwischen einem generischen IFC-Modell und dem fürs Straßenwesen spezifizierten Austauschstandard OKSTRA beschrieben:

Bei Betrachtung einer modellbasierten Arbeitsmethodik und dem Dokumentenaustausch ist es wichtig, dass das Modell eindeutig hinsichtlich der Informationslieferung zu definieren ist. Die Betrachtung und Lieferung von mehr als einer Version eines Datenmodells ist dabei grundsätzlich nicht zielführend, da dies u. a. zu einem Mehraufwand führt und auch Inkonsistenzen zwischen beiden Datenmodellen hervorgerufen werden können. Als Lösungsansatz für diese Problematik wurde im Rah-

men dieses Forschungsprojekts der Zusammenschluss der Daten bzw. der Informationsanforderungen zwecks Vereinheitlichung angestrebt.

Auf der einen Seite, beschreibt und definiert die ASB-Ing [6] in Verbindung mit dem OKSTRA-Schema „S_Bauwerke“ eine zentrale Anforderung für Objekte und Strukturen bezüglich der Betriebs- und Erhaltungsphase für Straßentunnel. Auf der anderen Seite findet sich mit IFC ein über Domänen hinweg breit repräsentiertes und industriell genutztes offenes Datenmodell für das Bauwesen, welches zukünftig im Zuge der Entwicklungen hinsichtlich IFC-Tunnel weiter spezifiziert wird [81].

Aufgrund der Vielfalt an Klassen und ihrer flexiblen Definitionsmöglichkeiten, wird in diesem Projekt IFC als grundlegendes Schema für die Definition der Modelle gewählt. Das generische Konzept der IFC ermöglicht es, Informationen aus anderen Modellschemata auf das Datenmodell zu übertragen, indem Merkmale und Merkmalsgruppen die Objekte ausprägen. So ist in diesem Projekt das Schema der ASB-Ing bzw. des OKSTRA-Standards für Ingenieurbauwerke als konkrete Vorlage betrachtet worden, um ein IFC Modell für den Tunnelbetrieb zu erstellen. Es wird somit eine Interoperabilität zwischen den Modellschemata hergestellt.

Eine Alternative zu dieser Vorgehensweise stellt der INTERLINK-Ansatz [86] dar. Das dort erarbeitete Konzept basiert auf einem Ontologiebasierten An-

satz zum Informationsaustausch zwischen Modellen basierend auf unterschiedlichen Standards. Diesbezüglich wird eine Datenbasis erzeugt, bei der IFC und OKSTRA-Konvertierung über RDF-Graphen ermöglicht werden.

Verlinkungen, Objekte und Eigenschaften sind durch Ontologien definiert, sodass die Verlinkungen und Regelsätze von Modellen über eine Plattform zur semantischen Bearbeitung (Semmtech Plattform) nativ untersucht werden können (siehe Bild 6-2). Das Konzept ist ähnlich zu dem der ICDD (siehe auch Kapitel 5.1.1), wobei im Gegensatz dazu die Modelle nicht konvertiert werden, sondern in ihrem ursprünglichen Format verarbeitet werden. Der ICDD-Container entkoppelt Dokumente und Modelle von der Logik der Verlinkung (Payload Documents – Payload Triples).

Grundsätzlich ist es möglich, beide Ansätze miteinander zu verbinden, allerdings würde dies die Struktur der ICDD-Container auf Basis der Definitionen der ISO-Norm 21597-1 [75] aufbrechen. So steht bspw. die Betrachtung von RDF-Graphen als semantisches Instrument zur Verknüpfung von Dokumenten mit dem Modell im Konflikt mit dem INTERLINK-Ansatz, da diese sich in der Verknüpfungsstruktur unterscheiden. Dies zeigt sich insbesondere im eigenen Ontologiebasierten Schema des INTERLINK-Ansatzes für die Verlinkung, welches auf anderen Definitionen von Klassen aufbaut als die ICDD-Container. Aufgrund dessen, wird im Rah-

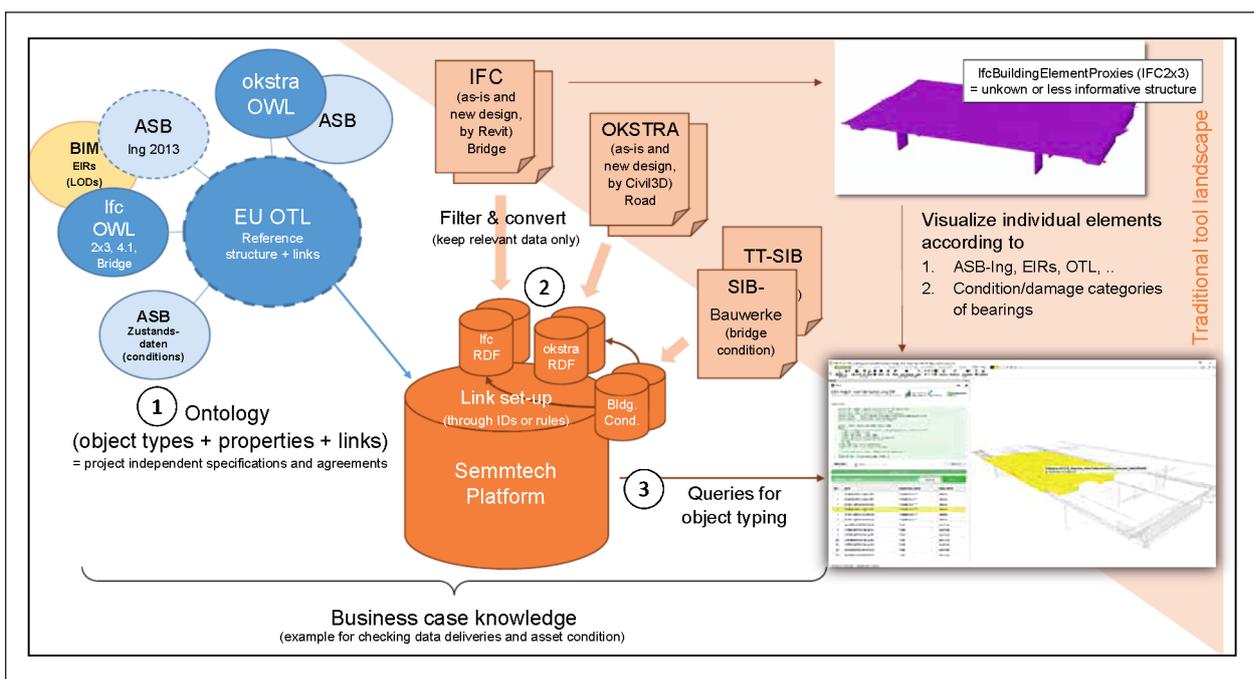


Bild 6-2: Technische Umsetzung des Beispiels [86]

men dieses Projekts eine detaillierte Betrachtung der Implementierung von Ontologien für den Umgang mit unterschiedlichen Austauschstandards nicht durchgeführt.

6.1.2 Anpassung Struktur

Während der Entwicklung von IFC wurde das Potenzial der Klassenhierarchie als OpenBIM-Ansatz auch für den Infrastrukturbereich erkannt. Das Schema befindet sich konstant in der Weiterentwicklung und wurde im Rahmen von Arbeitsgruppen und Forschungsprojekten wie IFC-Rail, IFC-Road, IFC-Bridge und IFC-Tunnel um entsprechende Klassen und Methoden erweitert (siehe Bild 6-3).

In IFC werden Elemente grundsätzlich anhand der räumlichen Strukturen (Site, Building, Facility etc.) und physischen Objekten (Door, Wall, Rail etc.) unterschieden. Eine Facility (dt.: Einrichtung) stellt dabei die grundlegende Modell-Struktur zur Verfügung und kennzeichnet den Inhalt als spezifisches Bauwerk.

Die buildingSmart-Arbeitsgruppe IFC Tunnel hat diesbezüglich eine Anforderungsanalyse zu dem Projektvorhaben veröffentlicht, in dem Komponenten zur Erweiterung und eine erste, umfangreiche Strukturierung für Tunnelmodelle festgelegt wurde (Bild 6-3, rechts) [81]. Der Umfang der Klassenerweiterung beinhaltet unter anderem Komponenten zur Tunnelausstattung und den unterschiedlichen

Tunnelbauweisen. Aufgrund des internationalen Charakters der Gruppe und der unterschiedlichen Anforderungen, welche sich sowohl aus national gültigen Regelwerken wie auch aus den Randbedingungen der unterschiedlichen Verkehrsträger ergeben, wird derzeit auf spezifische Use-Cases oder technische Eigenheiten bspw. der RABT verzichtet und das Datenmodell in diesem Bereich möglichst allgemein gehalten. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird unter diesen Aspekten nun ein Bezug zu IFC-Tunnel hergestellt. Dazu erfolgte im Rahmen dieses Projektes eine Abstimmung mit dem IFC-Tunnel Projekt hinsichtlich der Taxonomie benötigter Tunnelmodellstrukturen und Tunnelbetriebselemente in IFC.

6.1.3 Modellierung des Tunnelbauwerks auf Basis von IFC-Klassen

Die generelle Strukturierung eines Tunnelmodells in IFC setzt sich zusammen aus einer Relation zwischen Entitäten vom Typ `IfcSpatialStructureElement`, zur Differenzierung der räumlichen Anordnung von Bauwerkselementen. Den Rahmen für ein generelles Bauwerksmodell bildet demnach ein `IfcProject` das über eine Verknüpfung zu einer `IfcSite` verfügt, welche die Baustelle bzw. das Bauwerk räumlich über den globalen Standort beschreibt.

Seit IFC4x2 werden Bauwerke in `IfcFacility`-Elemente unterteilt, von denen abgeleitet ein `IfcBuild-`

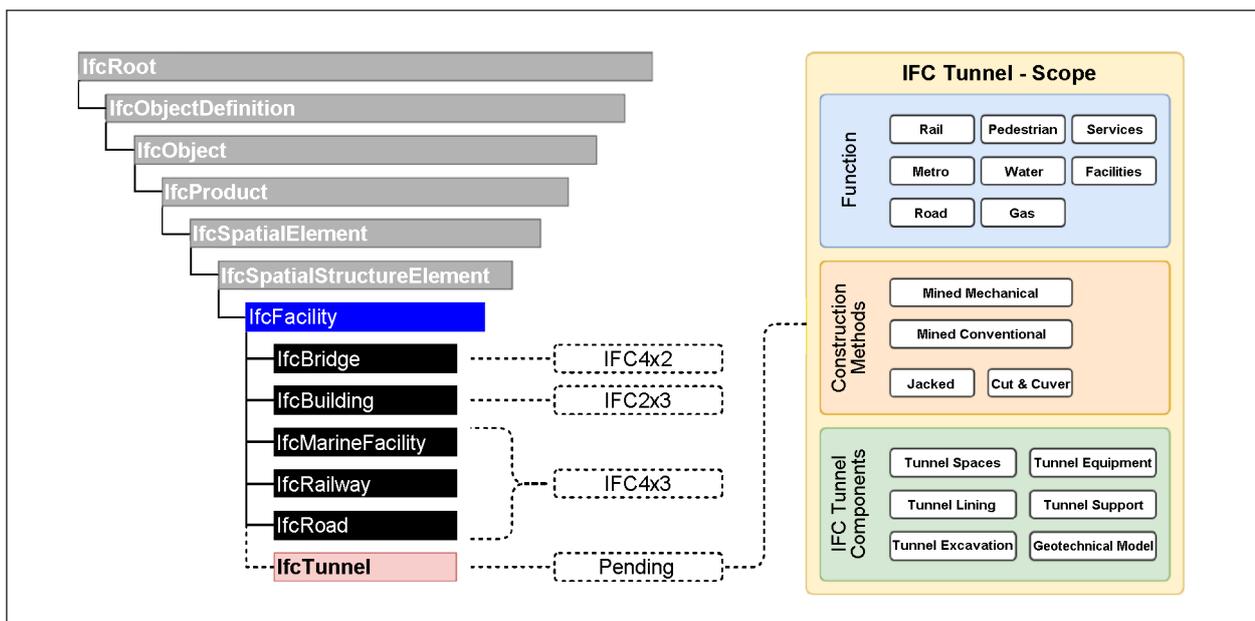


Bild 6-3: IFC-Historie der Erweiterungen anhand der abstrakten Strukturierung von Einrichtungen (links) und der Umfang der IFC-Tunnel Erweiterung nach der Angabe aus der veröffentlichten Anforderungsanalyse (rechts) [81]

technischen Ausstattung. Mit den vorhandenen Klassen aus IFC4 können demnach bereits solche Anlagen definiert und semantisch hervorgehoben werden.

Konventionell wurde vorgesehen Elemente für Infrastrukturbauwerke durch `IfcCivilElement` zu modellieren, was aber im Rahmen aktueller Entwicklungen als veraltet gilt. Stattdessen kann die Tunnelbetriebsausstattung durch komplementäre Klassen in IFC generalisiert abgebildet werden. Dies erfordert eine Untersuchung der entsprechenden Anlagen und ihren zugehörigen funktionalen Teilen. Diese Elemente beschreiben eine allgemeine Taxonomie für die Tunnelbetriebsausstattung. Beispielsweise wird eine Lüftungsanlage in die funktionalen Teile Lüftungssteuerung, Ventilation, Rauchabzugs-

klappen und Halterung unterteilt. Die einzelnen Teile stehen dabei in Relation zu der Lüftungsanlage. Daraufhin können die Elemente wie in Bild 6-5 durch entsprechende IFC-Klassen ersetzt werden. Eine Übersicht aller im Projekt betrachteten Anlagen und funktionale Teile ist aus Anhang 2 zu entnehmen.

Ist eine Anlage oder ein funktionales Teil nicht durch eine entsprechende IFC-Klasse zu substituieren, kann auch ein generischerer Ansatz gewählt werden. Eine Tunnelbetriebsanlage kann dabei als ein `IfcElementAssembly` und ihre funktionalen Teile als eine Gruppe von `IfcElement` definiert werden. Um welches Objekt es sich dann im Detail handelt, wird über die damit verknüpften Merkmale und Merkmalsgruppen ausgezeichnet. Es ist vorgesehen ein

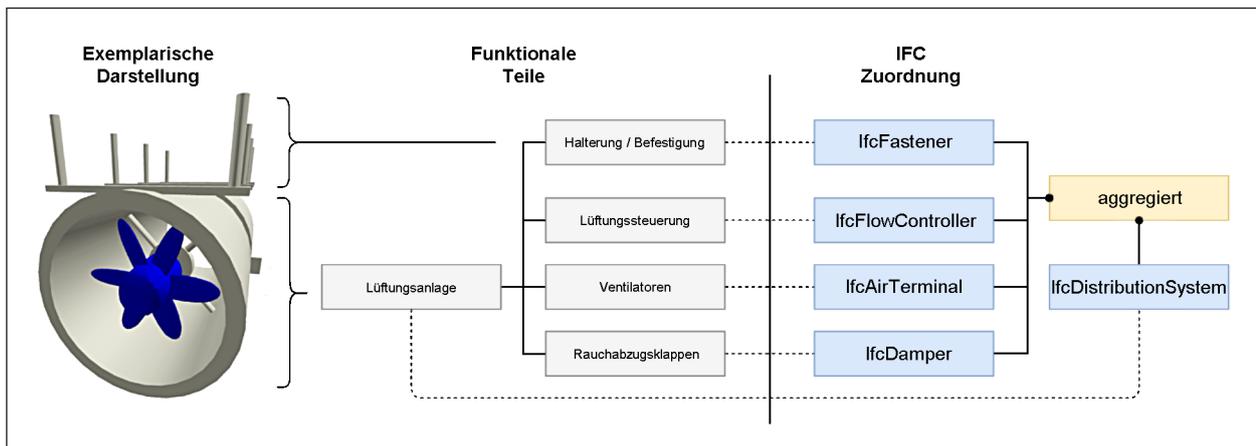


Bild 6-5: Zuordnung von IFC-Klassen an Funktionale Teile am Beispiel einer Lüftungsanlage

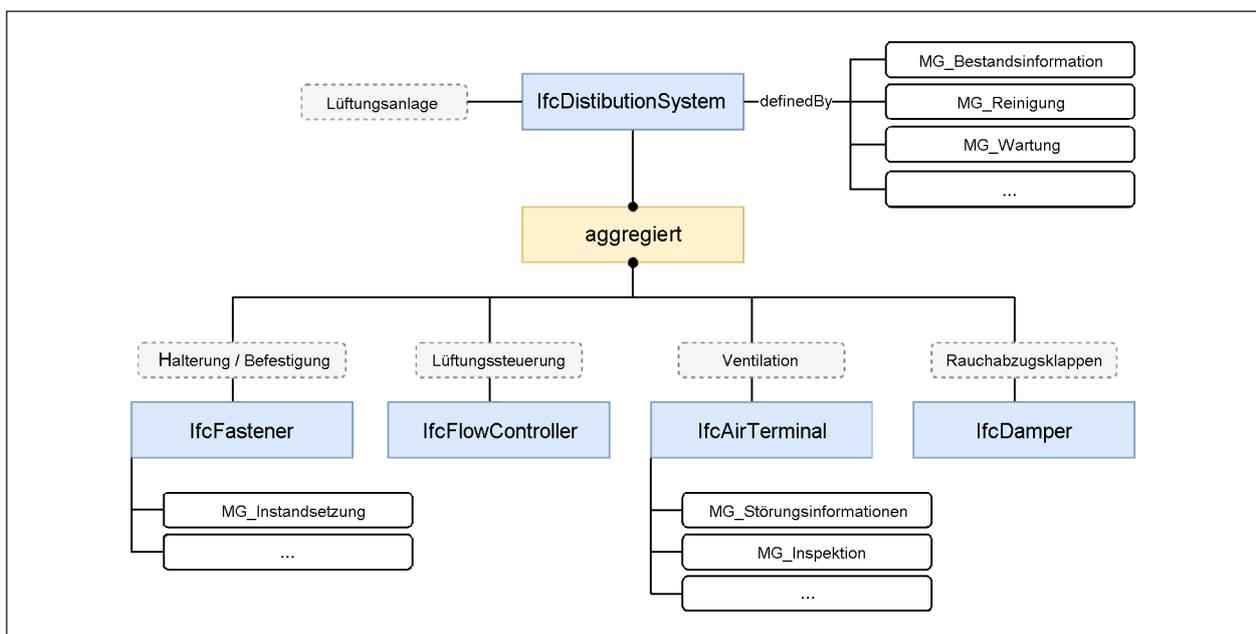


Bild 6-6: Auszeichnung einer Lüftungsanlagen-Entität durch Merkmalsgruppen für den Tunnelbetrieb

Tunnelbetriebselement prinzipiell durch die Merkmalsgruppe MG_Bestandsinformation auszuzeichnen (siehe Anhang 3), was dazu genutzt wird, um in IFC verwendete Element als Betriebsrelevant zu kennzeichnen. Die verknüpften Merkmalsgruppen können beliebig erweitert werden. Wurde beispielsweise eine Wartung durchgeführt, dann kann eine Merkmalsgruppe MG_Wartung auszuzeichnen (siehe Anhang 3) dazu genutzt werden, dies am Modell zu kennzeichnen. Im Fall einer Störung bzw. einer daraufhin erforderlichen Störungsbeseitigung, kann durch MG_Störungsinformation (siehe Anhang 3) die Informationen an der entsprechenden Entität verknüpft werden. Bild 6-6 zeigt beispielhaft eine Lüftungsanlagen, die mit entsprechenden Merkmalsgruppen für den Tunnelbetrieb ausgezeichnet wird.

6.1.5 Erfassung von betriebs- bzw. erhaltungsrelevanten Merkmalen

Im Rahmen der Informationsanforderungsanalyse (siehe Kapitel 5 zu den Information Delivery Manuals) wurden auf Basis der Untersuchung von Instandhaltungsverträgen und den zugehörigen Anlagen die Abhängigkeiten zwischen Bauwerksmodell und den anwendungsspezifischen Dokumenten festgestellt. So bilden bspw. die Arbeitskarten die Grundlage für die Wartungs- und Inspektionstätigkeiten an der betriebstechnischen Ausstattung.

Das Konzept zur informationstechnischen Bearbeitung von Dokumenten und Fachmodelle, sowie die Auswertung ihrer Abhängigkeiten, wird in Bild 6-7

veranschaulicht. Konventionell werden Dokumente, wie Arbeitskarten, Leistungsverzeichnisse oder Prüfprotokolle, in gedruckter Form bearbeitet und nachhaltig archiviert. Dieser Vorgang ist im Kontext einer BIM-basierten Methodik zu digitalisieren, um eine maschinelle Verarbeitung und Bindung mit Modellobjekten zu realisieren. Die Inhalte eines Dokumentes können in Form eines eigenen XSD-Schemas formell beschrieben werden, sodass eine Instanz des Schemas als konkretisiertes Dokument zu einem Fachmodell beigelegt werden kann. Dieser Vorgang wird in Kapitel 5.1 detailliert erläutert.

Die Verlinkung der Dokumente wird durch Verwendung von ICDD-Containern ermöglicht, welche alle relevanten Dokumente und Fachmodelle durch Link-Dataset-Ontologien miteinander in Relation setzt. Diese können durch die Abfragesprache SPARQL geprüft und ausgewertet werden. Solch ein ICDD-Container kann beliebige Information zusammenfassen. So können auch Meta-Informationen zur Zustandserfassung des Containers mit eingebunden werden, wodurch auch die Umsetzung eines Ticketsystems auf Basis von ICDD durchführbar ist. Der Container bildet eine einheitliche Projekt-Datei für den Austausch zwischen Projektbeteiligten.

Allgemeine Implementierung von Merkmalsgruppen

Zur semantischen Auszeichnung von Elementen im Tunnelbau werden Merkmalsgruppen und Merkmals-

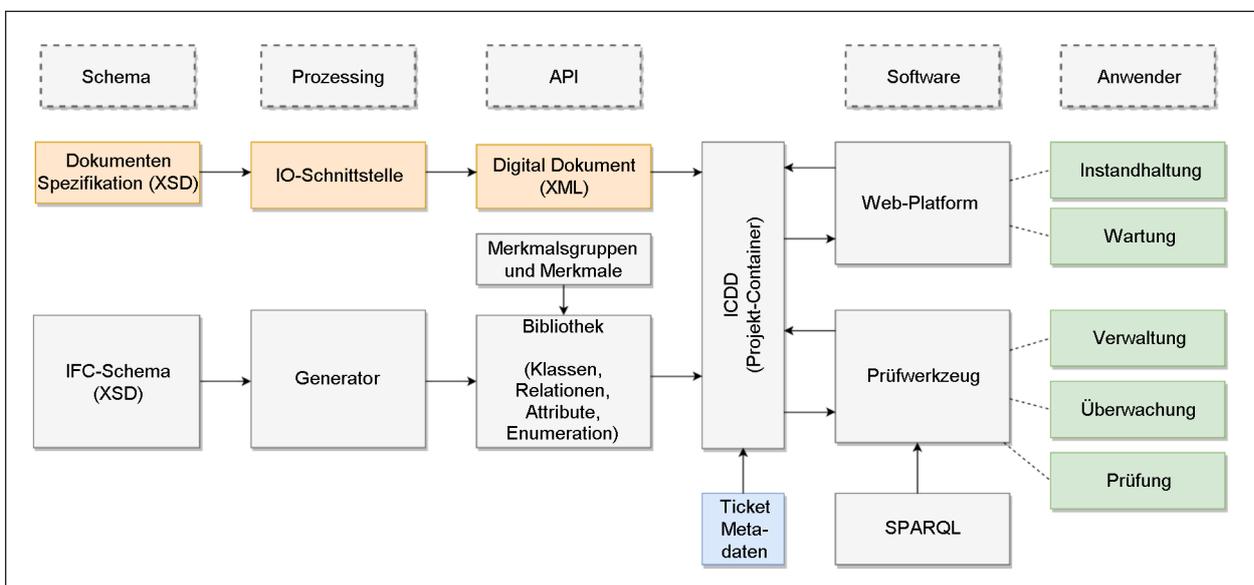


Bild 6-7: Konzept zur Implementation von Informationsanforderungen im Tunnelbetrieb

le benötigt, die vorschreiben, welche Eigenschaften durch eine Entität abgerufen werden können (siehe Bild 6-7). Die Erfassung erfolgt dabei nach den Vorgaben der DIN EN ISO 23387 [87], welche Merkmalsgruppen und Merkmale als eine Sammlung von Vorlagen für Eigenschaften beschreibt, um diese zusammengefasst als Datenvorlage zur Beschreibung von Bauobjekten zu verwenden. Das Konzept ist konkret für die Überführung in das IFC-Schema vorgesehen. Eine vereinfachte Darstellung der Kernkomponenten ist in Bild 6-8 veranschaulicht.

Eine Merkmalsgruppe und ihre verknüpften Merkmale können schematisch festgehalten, oder in Datenbanken zwischengehalten werden [88]. Merkmale definieren Platzhalter für Eigenschaften, an dessen Stelle konkrete Werte nach der vorgegebenen Beschreibung eingetragen werden. Die Merkmalsgruppe dient als Aggregationselement zwischen Objekt und Merkmal. In IFC wird solch eine Merkmalsgruppe als *IfcPropertySet* (dt.: Satz von Eigenschaften) modelliert und über die *definedBy*-Beziehung an einem Bauteil oder Strukturelement verknüpft. Das Modellobjekt wird durch die Angabe der Eigenschaften semantisch ausgezeichnet und typisiert. Beispielsweise kann so durch die Verknüpfung einer Merkmalsgruppe für Wartungsinformationen ein Modellobjekt als wartungsrelevant gekennzeichnet werden. Eine entsprechende Anwendung ist dann in der Lage durch die Anfrage aller wartungsrelevanten Objekte, diese anhand der Merkmalsgruppe zu identifizieren.

Unter Berücksichtigung der Entwicklung des IFC-Schemas wird zunehmend eine Reduktion der vorhandenen Klassenstruktur angestrebt, um der Herausforderung der wachsenden Komplexität entgegenzuwirken. Die Klassenhierarchie wird dabei teil-

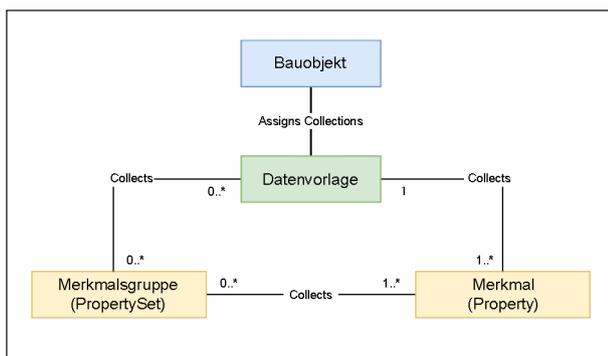


Bild 6-8: Stark vereinfachte Darstellung der Kernkomponenten zu Merkmalsgruppen und Merkmale

weise neu strukturiert und die Attribuierungen extrahiert. Es findet eine Übernahme der entnommenen Informationen in den Satz der Eigenschaften statt. Infolge entsteht zunehmend eine generalisierte Klassenstruktur, welche durch die Verknüpfung der Eigenschaften hinsichtlich ihrer Informationsanforderung konkretisiert werden. Dieses Konzept bildet die Grundlage zur Beschreibung der Anforderungen für den Informationsaustausch während der Betriebsphase.

Umsetzung der Merkmalsgruppen für den Betrieb von Straßentunneln

Elemente für die Betriebsphase von Straßentunnel sind als Katalog von Merkmalsgruppen angegeben, die dafür genutzt werden, um Entitäten durch spezifische Informationen zu ergänzen. Dieser Katalog unterteilt sich in drei Kategorien (Bild 6-9). Merkmalsgruppen und Merkmale werden als objektspezifisch bezeichnet, wenn diese eindeutig dazu verwendet werden, um Entitäten einer betriebstechnischen Anlage oder ihren verknüpften Komponenten mit spezialisierten Informationen eines konkreten Objektes semantisch auszuzeichnen. Merkmalsgruppen werden als aufgabenorientiert bezeichnet, wenn es sich um ergänzende Informationen zur Durchführung gewisser Tätigkeiten handelt, wie beispielsweise Wartung oder Störungsbeseitigung. Strukturspezifische Merkmalsgruppen enthalten Angaben zur Strukturierung eines Tunnelbauwerks oder realisieren die Überführung und Ableitung eines spezifischen Modellierungsschemas in IFC. Eine Übersicht über den Inhalt diese Kataloge kann aus dem Anhang 3 entnommen werden.

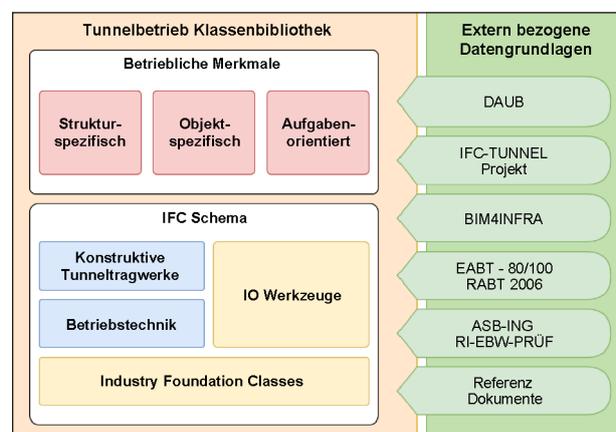


Bild 6-9: Katalog von Merkmalsgruppen für die Ausstattung und Strukturierung eines Tunnelbauwerks im Tunnelbetrieb

6.1.6 Beispiel zur Verlinkung von Dokumenten

Über einen ICDD-Container werden Dokumente, wie beispielsweise digitale Arbeitskarten, mit dem Betriebsmodell verlinkt. Die Verlinkung wird dabei im Sinne des Semantik-Web als eine Ontologie definiert. Solch eine Ontologie wird als RDF/OWL formuliert und enthält Meta-Informationen sowie Hinweise zu den Angaben der Zuordnung von Dokument zu Bauwerksobjekt. Daten werden in Ontologien als Tripel beschrieben, durch explizite Angabe von Subjekt, Prädikat und Objekt. Die ISO-Norm 29841-1 [74] beschreibt konkrete Ontologie-Ressourcen, namentlich Container.rdf und Linkset.rdf, die genutzt werden, um umfangreich die Bindung der Payload-Dokumente zu definieren. Es wird dabei von der ISO nicht gestattet eine schematische Erweiterung der Container.rdf und Linkset.rdf vorzunehmen, um sicherzustellen dass keine Abweichungen zu den Definitionen der Normung existieren. Im Anhang D der ISO wird daher ein Verfahren zur Validierung des ICDD durch SHACL beschrieben. Es wird jedoch nicht ausgeschlossen, zusätzliche Ontologien mit in den ICDD zu integrieren. Solange diese nicht in die Definition von Container und Linkset eingreifen, wäre es beispielsweise möglich, Meta-Informationen als eine Ontologie für Wartungsaufgaben zu generieren, welche die Verlinkung informativ begleiten (siehe Bild 6-10).

Der Inhalt eines ICDD ist abhängig von den Informationsanforderungen des jeweiligen Prozesses, indem dieser genutzt wird. Konzeptionell ist ein ICDD generisch gehalten und bedient daher ein breites Feld für Anwendungsmöglichkeiten.

Angenommen, es wird der definierte Soll-Prozess der Wartung und Inspektion aus Kapitel 5.2.2 betrachtet. Darin wird deutlich, dass der Informationsaustausch an exakt zwei Stellen in dem Prozess zu verorten ist. Zum einem ausgelöst durch den Prozess eines Bereitstellungsverfahrens, ausgehend von der Rolle einer Verwaltungsbehörde (Bild 6-11, links). Zum anderen ausgelöst durch den Prozess der Dokumentation und Berichtabnahme auf Seiten des Dienstleisters (Bild 6-11, rechts).

Bei Betrachtung dieser exemplarischen Darstellung fällt auf, dass technische Datenblätter getrennt von dem Bauwerksmodell abgelegt werden können. Diese Dokumente unterscheiden sich je nach Hersteller und Bauteil, weshalb sie als unstrukturierte Information zu betrachten sind. Eine detaillierte Übernahme aller Angaben der technischen Datenblätter würde insbesondere den Umfang für eine zielgerichtete und anwendungsorientierte Bearbeitung am Bauwerksmodell deutlich verkomplizieren. Es ist daher zu empfehlen, diese als maschinenlesbares Format über die Verlinkung einzubinden, anstatt das Bauwerksmodell mit den Informationen zu überlasten.

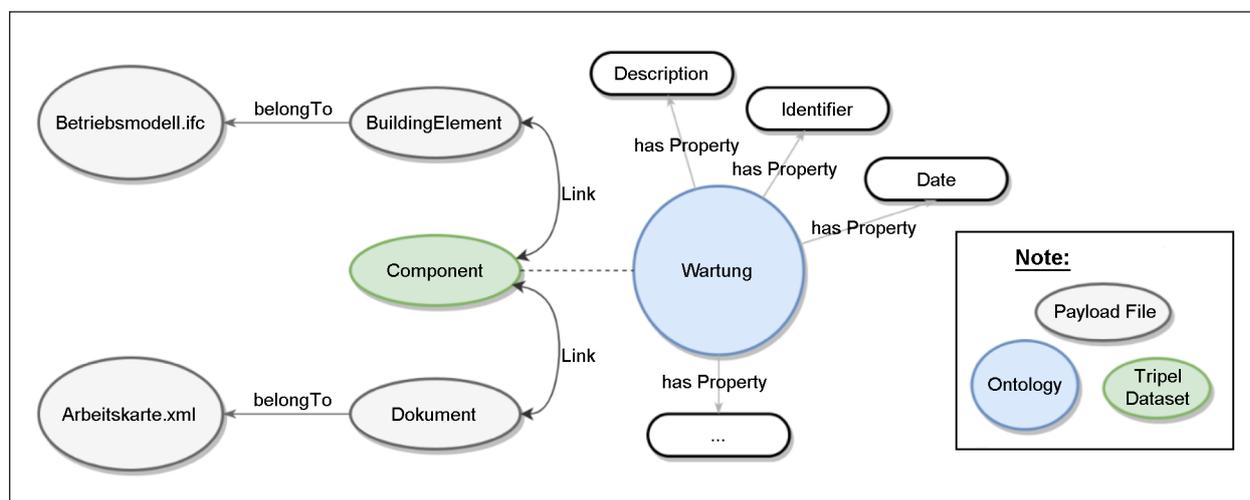


Bild 6-10: Darstellung der Verlinkung in der Ontologie

Exchange Requirements Model			Exchange Requirements Model		
Name:	Tunnel Wartungsbeauftragung		Name:	Tunnel Wartungsdokumentation	
Identifier:	ER1_ICDD_Tunnel_Maintenance_Assignment		Identifier:	ER2_ICDD_Tunnel_Maintenance_Assessment	
Description:	Name	Type	Description:	Name	Type
Index:			Index:		
	Index	rdf		Index	rdf
Ontology Resources:			Ontology Resources:		
	Container	rdf		Container	rdf
	LinkSet	rdf		LinkSet	rdf
	WartungsSemantik	rdf		WartungsSemantik	rdf
Payload Documents:			Payload Documents:		
	Tunnelbauwerk	ifc		Tunnelbauwerk_v2	ifc
	Arbeitskarte	xsd		Arbeitskarte_01	xml
	TechnischesDatenblatt_A	pdf/xml		Arbeitskarte_02	xml
	TechnischesDatenblatt_B	pdf/xml		Arbeitskarte_...	xml
				Bericht	pdf/xml
Payload triples:			Payload triples:		
	Linkset-Data (Datenblatt)	rdf		Linkset-Data (Arbeitskarte)	rdf
	AngeforderteWartung	rdf		WartungsErgebnis	rdf

Bild 6-11: Exemplarischer Inhalt der ICDD im Soll-Prozess der Wartung und Inspektion

6.2 Empfehlungen zur Umsetzung als praxissgerechtes Modell für die Betriebs- und Erhaltungsphase

6.2.1 Anforderungen an die kollaborative Zusammenarbeit

Ausschreibungsprozess

Aus der Erstellung der Information Delivery Manuals in Kapitel 5 sowie des entwickelten IFC-Datenmodells in Kapitel 6 ergeben sich folgende Hinweise für die Umsetzung eines praxissgerechten Modells für die Betriebs- und Erhaltungsphase:

Grundlage für die Anwendung vom BIM während der Betriebsphase ist die Erstellung des Betriebsmodells basierend auf den Fachmodellen aus der Ausführungsphase bzw. dem As-built-Modell. Gemäß Kapitel 5.2.1 wird empfohlen, einen externen Dienstleister mit entsprechender Qualifikation die Erstellung des Betriebsmodells durchführen zu lassen. Dies kann insbesondere mit den notwendigen Ressourcen (u. a. Personal, Software) begründet werden. Dennoch ist es innerhalb der Verwaltungsbehörde bzw. beim Auftraggeber erforderlich, entsprechende BIM-Kompetenzen innerhalb der Organisation zu implementieren, insbesondere um die Qualität des übergebenen Betriebsmodells sicherzustellen. Dies inkludiert auch die eindeutige Definition der Anforderungen im Rahmen der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), sowie idealtypisch die Erstellung des BIM-Abwicklungsplans

(BAP). Insbesondere der zweite Schritt erfordert ein entsprechendes Know-How auf Seiten des Auftraggebers hinsichtlich der Möglichkeiten zur Abwicklung und Umsetzung vom BIM. Die Erfahrungen sind aktuell zwar sehr gering bzw. noch nicht vorhanden, doch mit zunehmendem Umgang mit der Arbeitsmethodik BIM (siehe auch BIM4INFRA [76]) und zunehmender Erfahrung können entsprechende Anforderungen für die technische Umsetzung erarbeitet werden. Eine Alternative stellt der sog. Vorab-BAP dar, welche im Rahmen der Vergabe vom Auftraggeber mit den AIA übermittelt wird. Dieser definiert einen Muster-BAP und garantiert somit eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Angebote. Weitere, detaillierte Anmerkungen bzw. Empfehlungen zu den AIAs und dem BAP werden durch BIM4INFRA [76] zur Verfügung gestellt.

Datenaustausch

Insbesondere die dargestellten Soll-Prozesse für einen BIM-basierten Ansatz in Kapitel 5.2 zeigen die grundlegenden Prinzipien des Datenaustausches mit einem BIM-Modell (über ICDD-Container). Es ist anzumerken, dass einzelne Subprozesse je nach Verwaltungsbehörde abweichen können. Diese beeinflussen den Informationsaustausch in der Regel nicht maßgebend. Wichtig ist jedoch, dass die Zuständigkeiten hinsichtlich der Datenlieferung – u. a. im Rahmen der AIAs – eindeutig definiert werden.

Es wird zudem empfohlen, die aktuell erarbeiteten Grundlagen für das Betriebsmodell bzw. für die entsprechenden Anwendungsfälle (u. a. Merkmalsgruppen und Merkmale, LOINs, Substitutionstabellen) von Betreibern bzw. den weiteren Akteuren des Tunnelbetriebs zu validieren und entsprechend auszuarbeiten.

Das BIM-Modell selbst dient zur Informationshaltung und bildet die Grundlage für weitere Prozesse wie bspw. die Auswertung von Wartungsunterlagen oder die Erhaltungsplanung. Durch die Entwicklung von entsprechenden Werkzeugen können somit herkömmliche Betriebs- und Erhaltungsprozesse erweitert werden. Einen zentralen Bestandteil kann dabei eine Web-Plattform bilden, welche die Informationen aus dem BIM-Modell für Auswertungen und Visualisierungen (bspw. in Form von statistischen Modellen) nutzt. Darüber hinaus können auch Werkzeuge zur Überprüfung des Modells verwendet werden, zum Beispiel hinsichtlich der Richtigkeit und Vollständigkeit von Verlinkungen. Im weiteren Projektverlauf ist vorgesehen, entsprechende Prototypen zu entwickeln.

6.2.2 Pflege der Merkmalsdatenbank

Wesentliche Grundlage zur Definition der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) bzw. der damit einhergehenden Spezifizierung von Informationsanforderungen ist u. a. die Verwendung von Klassifikationen der jeweiligen Bau- bzw. Anlagenteile sowie eine entsprechende Verknüpfung mit Merkmalen (Eigenschaften). Die Entwicklung ent-

sprechender Datenbanken kann somit die Auftraggeber bei der Generierung von AIAs erheblich unterstützen, wobei auch Auftragnehmer ihre Prozesse auf die Vorgaben abstimmen können. [89]

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden betriebliche Merkmale mit korrespondierenden Merkmalsgruppen zusammengefasst, die sowohl strukturspezifische (bezogen auf das konstruktive Tunnelbauwerk), objektspezifische (bezogen auf die betriebstechnische Ausstattung) als auch aufgabenorientierte (bezogen auf betriebliche Prozesse) Eigenschaften abbilden. Auf Basis dieser Eigenschaftssätze können Property Sets abgeleitet werden, mit denen im IFC-Modell Objekte ausgezeichnet werden können. Dabei fokussieren sich die abgebildeten Merkmalsgruppen und Merkmale auf die im Rahmen dieses Forschungsprojekts genauer betrachteten Anwendungsfälle.

Deshalb wird empfohlen, die Merkmalsdatenbank zukünftig zu erweitern, insbesondere dann, wenn weitere Prozesse der Betriebsphase im Rahmen eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements unterstützt werden sollen. Ein Ansatz hierzu liefern die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt BIMSTRUCT [88], welches durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert wird.

Neben dem grundsätzlichen Aufbau bzw. der Konzeptionierung von Merkmalsdatenbanken (u. a. basierend auf der DIN EN ISO 23386 [90]) wurde dort auch ein Ansatz zur Pflege von Datenbanken erarbeitet (siehe Bild 6-12).

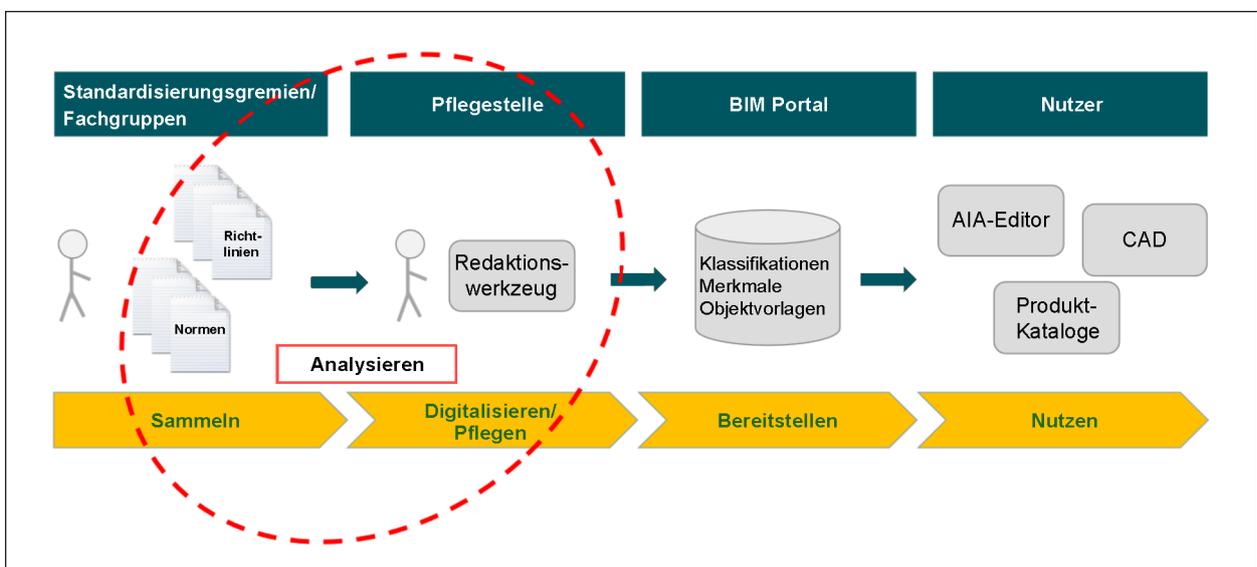


Bild 6-12: Vorgehensweise zur Pflege von Merkmalsdatenbanken aus BIMSTRUCT [88]

Demnach werden in einem ersten Schritt alle Datenkataloge u. a. bestehend aus Regelwerken, Klassifikationen und Objektkatalogen zunächst gesammelt und hinsichtlich der Anwendung, Struktur und der Verknüpfung untereinander analysiert. Nach Analyse können die erfassten Informationen digitalisiert und in einem BIM-Portal zur Verfügung gestellt werden. Dem Nutzer können wiederum Hilfsmittel wie ein Editor zur Verfügung gestellt werden, um auf die Datenbanken entsprechend zurückgreifen und ggf. Ergänzungen bzw. geringfügige Anpassungen durchführen zu können.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde bereits eine Vielzahl an Regelwerken, Richtlinien und Empfehlungen mit Bezug zur Betriebsphase von Straßentunnel zusammenfassend analysiert (siehe Kapitel 3.3 bzw. Anhang 1). Eine ganzheitliche Erfassung in einen Datenkatalog ist bisher nicht erfolgt, da hier der Fokus auf ausgewählten Prozessen des Straßentunnelbetriebs lag (siehe auch Kapitel 5.2). Diesbezüglich wird empfohlen, in Anlehnung an die Vorgehensweise in BIMSTRUCT, den Datenkatalog zu erweitern und die entsprechenden Strukturen zu schaffen (bspw. Einbeziehen der Gremien/Fachgruppen, Bildung einer Pflegestelle, Entwicklung eines BIM-Portals und Nutzer-Tools).

6.2.3 Hinweise zur Standardisierung

Zwecks Einordnung von betriebs- und erhaltungsrelevanten Elementen der Betriebsphase von Straßentunneln (maßgeblich betriebstechnische Ausstattung und konstruktives Tragwerk) wurde ein Katalog mit funktionalen Teilen erstellt (siehe Anhang 2), welcher den modellierungstechnischen Umfang darstellt. Im Rahmen der Entwicklung des IFC-Datenmodells wurde diese Struktur mit korrespondierenden IFC-Klassen (hier gemäß IFC-Standard 4x3) substituiert, welche eine Empfehlung zur technischen Zusammensetzung definierter Objekte und ihre Relation bilden.

Zur Auszeichnung mit betriebs- und erhaltungsrelevanten Informationen wurden zudem entsprechende Merkmalsgruppen und Merkmale definiert (siehe Anhang 3). Zusammenfassend stellen beide Anhänge zusammen eine vollständige Beschreibung zur Konstruktion und Bearbeitung des Betriebsmodells dar. Als Grundlage dienten hierbei maßgeblich die Erkenntnisse aus der Analyse der regulativen Randbedingungen (siehe Kapitel 3.3). Die Unterlagen im Anhang sind konzeptionell eng miteinander

verbunden, sodass durch eine Anpassung in einen Katalog automatisch eine Revision in den anderen Katalogen zu erfolgen hat, um einen konsistenten Informationsaustausch zwischen den Katalogen zu ermöglichen

Nachfolgend werden Herausforderungen beschrieben, die im Rahmen der Entwicklung der Modellgrundlagen hinsichtlich einer angestrebten und grundsätzlich auch vorausgesetzten Standardisierung identifiziert wurden:

- Im Kern orientieren sich die Gliederung der funktionalen Teile sowie die zusammengefassten Merkmalsgruppen und Merkmale an der identifizierten Klassifizierung bzw. den ermittelten Eigenschaften aus den Regelwerken, Richtlinien und Empfehlungen des Straßentunnelbetriebs (mit Fokus auf den hier betrachteten Prozessen). Insbesondere mit Bezug auf die betriebstechnischen Anlagen wurde deutlich, dass eine eindeutige Strukturierung derzeit nicht festgelegt werden kann.
- Derzeit werden von unterschiedlichen Arbeitsgruppen Standards für die Anwendung vom BIM im Bereich des Tunnelbaus/Tunnelbetriebs definiert. Beispiele sind hier auf nationaler Ebene die Empfehlungen des DAUB [4] und der DEGES [15], sowie auf internationaler Ebene die Arbeitsgruppe IFC-Tunnel von buildingSmart International. Die Entwicklungen aus diesen Arbeitsgruppen wurden zwar bei der Entwicklung der Grundlagen für ein Betriebsmodell berücksichtigt, konnten jedoch nicht abschließend vollständig übernommen werden, da diese sich derzeit teilweise auch noch in der Bearbeitung/Überarbeitung befinden.

Zusammenfassend ergeben sich auf der einen Seite regelmäßig weitere Anforderungen an ein Betriebsmodell, welche hinsichtlich der ganzheitlichen Modellierung zu berücksichtigen sind. Dies erfordert auch eine regelmäßige Anpassung der zugrundeliegenden Dokumentation (hier in Form der Anhänge 2 bis 4). Auf der anderen Seite besteht grundsätzlich ein Bedarf, insbesondere für die betriebstechnische Ausstattung eine einheitliche Klassifizierung zu definieren.

7 Prototypische Entwicklung von Hilfs- und Prüfwerkzeugen für die Anwendung am Modell

Die wesentliche Arbeitsumgebung im Rahmen des modelltheoretischen Ansatzes für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungskonzept für Straßentunnel bilden die ICDD-Container (siehe Kapitel 5.1.1 und Kapitel 6.1.6), welche den Zweck des Informationsaustausches erfüllen. Ansätze wie beispielsweise die Verarbeitung und der Austausch von digitalen Arbeitskarten (siehe Kapitel 5.2.2) zur BIM-gestützten Optimierung der Wartung und Inspektion der betriebstechnischen Ausstattung kann auf Grundlage der Container umgesetzt werden. Weitere Potenziale für die Integration der containerbasierten Arbeitsweise sind zudem die modellbasierte Visualisierung und Filterung von Prozessergebnissen sowie die Integration eines Ticketsystems für ein modellbasiertes Management.

Zur Umsetzung dieser Anwendungsfälle werden in der Regel Hilfswerkzeuge benötigt, welche den Anwender unterstützen. Eine weitere Rolle nehmen hier insbesondere Prüfwerkzeuge ein, die das Mo-

dell insbesondere hinsichtlich seiner Integrität überprüfen.

Nachfolgend werden die Hilfs- und Prüfwerkzeuge, welche im Rahmen dieses Projekts entwickelt wurden, sowie deren Funktionalitäten vorgestellt. Eine exemplarische Anwendung erfolgt in Kapitel 8, im Zuge der Umsetzung des modelltheoretischen Ansatzes am Demonstrator.

7.1 Digitale Dokumentenverwaltung

Zur maschinengestützten Auswertung von Informationen ist die Erfassung digitaler Dokumente wesentliche Voraussetzung. Auf Basis dessen können Daten aus Prozessen u. a. (teil-)automatisiert ausgewertet werden oder weitere wesentliche Dokumente des Betriebs- bzw. Erhaltungsmanagements generiert werden (bspw. Kostenaufstellungen, Vertragsunterlagen etc.). Dies erfordert eine schematische Abbildung der Dokumentenstruktur (bspw. XML-basiert) um eine Verwaltung und Auswertung anhand eines objektorientierten Datenmodellansatz durchzuführen. Entsprechende Entwürfe hierfür wurden unter anderem für Arbeitskarten im Zuge

Arbeitskarte

Titel:

Gegenstände:

Name:

Personal:

Beschreibung	Bemerkung	Erledigt?	
der Leuchten	bei Bedarf	<input type="checkbox"/>	

Name:

Personal:

Beschreibung	Bemerkung	Erledigt?	
Sichtkontrolle		<input type="checkbox"/>	
auf thermische und mechanische Schäden		<input type="checkbox"/>	
der Anschlüsse	ggfs. Nachziehen	<input type="checkbox"/>	
auf beschädigte Kennzeichnung		<input type="checkbox"/>	
der Befestigung	ggfs. Nachziehen	<input type="checkbox"/>	
auf Dichtheit		<input type="checkbox"/>	
der Leuchtmittel	ggfs. Tauschen	<input type="checkbox"/>	
der Vorschaltgeräte	ggfs. Tauschen	<input type="checkbox"/>	
auf defekte Einzel-LEDs	ggfs. Tauschen; mit Protokoll	<input type="checkbox"/>	

Bild 7-1: Benutzeroberfläche implementiert auf Basis von Arbeitskarten und Schema

der Wartung und Inspektion der betriebstechnischen Ausstattung sowie für die Bauwerksprüfung entwickelt (siehe Kapitel 5.2).

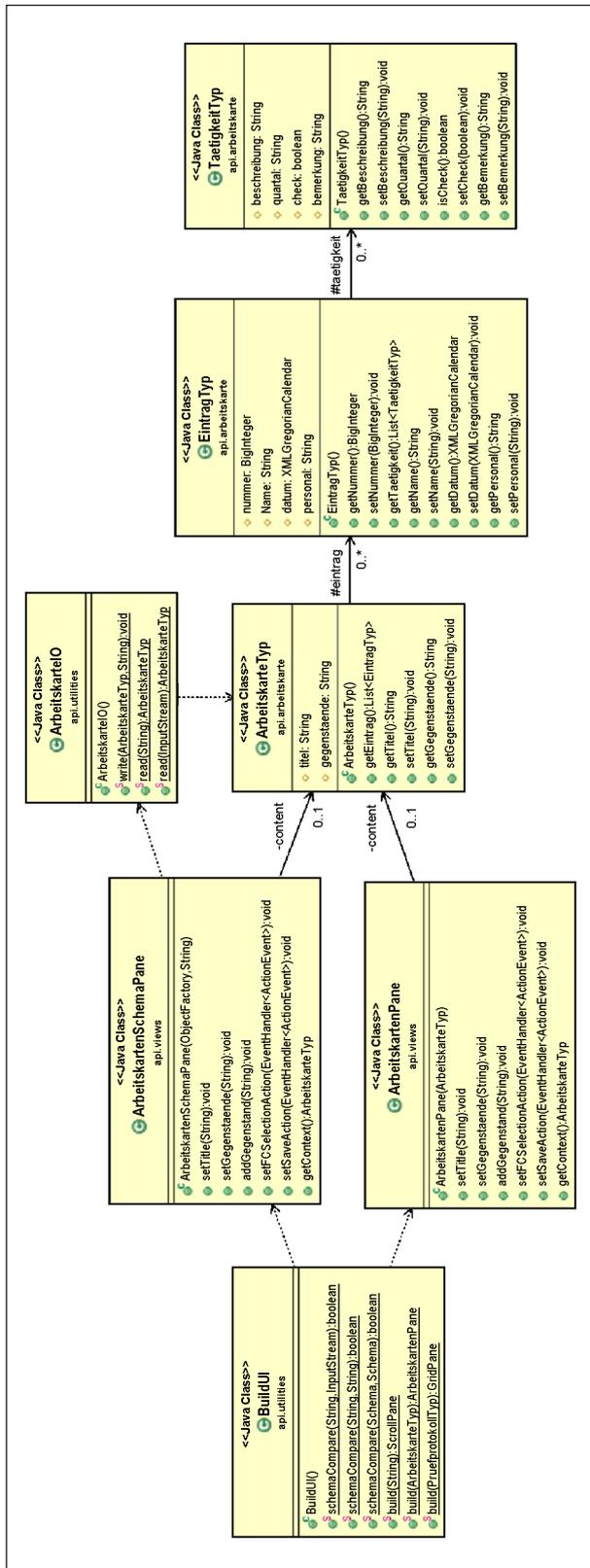


Bild 7-2: Modellabbildung

Auf Basis von XML-Tools wurde das erzeugte Arbeitskarten-Schema in ein entsprechendes objektorientiertes Modell überführt. Zudem wurden Funktionen implementiert, welche je nach vorliegendem Dokumententyp (bspw. XSD-Schemata oder XML-Dokument) eine Validierung durchführen. Diese erfolgt dabei zweistufig:

- 1) Die XML-Dokumente werden gegen das XSD-Schemata validiert, indem versucht wird, die Objekte aus der Programmierschnittstelle (API) zu erzeugen. Dies erfolgt lediglich, wenn eine Übereinstimmung vorliegt.
- 2) Das selektierte XSD-Schema wird gegen das XSD-Schema der Programmierschnittstelle verglichen. Nur wenn diese äquivalent sind, wird eine entsprechende Ansicht erzeugt.

Eine weitere Funktion ist die Erzeugung einer geeigneten, grafischen Benutzeroberfläche (siehe Bild 7-1). Darüber können bspw. im Vorfeld einer Wartung und Inspektion entsprechende Arbeitskarten gemäß den Anforderungen erstellt und mit dem Modell verknüpft werden. Diese Arbeitskarten können dann im Tunnel vor Ort über ein entsprechendes Endgerät (bspw. Tablet) ausgefüllt werden.

Insgesamt ergibt sich daraus ein Programmiergerüst (auch Framework genannt), welches hier als Dokumentenverwaltung-API bezeichnet wird. Dieses bzw. das korrespondierende, objektorientierte Modell ist in Bild 7-2 dargestellt.

Die Klassen ArbeitskarteTyp, EintragTyp und TaetigkeitTyp sind hierbei direkt aus dem XML-Schema generiert worden und ermöglichen es Arbeitskarten objektorientiert zu konstruieren, wohingegen die Klassen der ArbeitskarteSchemaPane und ArbeitskartePane jeweils ein JavaFX-Panel konkretisieren, welches von externen Anwendungen eingebunden werden kann. Bei BuildUI und ArbeitskarteIO handelt es sich hingegen um zusätzliche Hilfsklassen, zur vereinfachten Konstruktion digitaler Arbeitskarten.

7.2 Inspektion von Container-Inhalten

Ein zentraler Aspekt des containerbasierten Austausches von BIM-basierten Inhalten ist die maschinelle Verarbeitung und Auswertung von Informationen. Neben den Anforderungen an den Digitalisierungsprozess von Dokumenten sind darüber hinaus

weitere Anwendungen erforderlich, um mittels Anfragen auf die digital erfassten Informationen zugreifen zu können. So können beispielsweise die Verlinkungen (RDF) zwischen IFC-Modell und Dokumenten ausgewertet, digitale Unterlagen (XML) auf Vollständigkeit und Konformität geprüft und der Eigenschaftensatz im Modell (IFC) basierend auf benötigte Merkmalsgruppen und Merkmalen untersucht werden (siehe Bild 7-3). Entsprechend werden unterschiedliche Prüfungsunterlagen benötigt, die je nach Dokument unterschiedliche Voraussetzungen und Konzepte erfüllen müssen und zu anderen Prüfungsergebnissen führen. Als Prüfungsunterlagen zählen beispielsweise formulierte Abfragen (SPARQL) oder Schemata (XSD) die zur Prüfung auf den passenden Unterlagen ausgeführt werden können.

Nachfolgend wird die prototypische Implementierung einzelner funktionaler Prozesse gezeigt. Dazu zählen:

- die Initialisierung von ICDD-Containern bzw. die Erstellung semantischer Verknüpfungen von Containerinhalten,
- die Ausführung und die Verarbeitung von Abfragen der Containersemantik (Dokumenten Verlinkungen und Meta-Daten),
- die Visualisierung eines Modells.

Zwecks Umsetzung wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts die Desktop-Anwendung ICDD Inspektor entwickelt. Dabei ermöglicht die Projektansicht innerhalb der Anwendung die Navigation durch den geladenen Container anhand der Ordnerstruktur (siehe auch Kapitel 5.1.1) und den korrespondierenden Inhalten. Die Inhalte werden durch entsprechende Icons farblich unterschieden. Ein ro-

tes Icon kennzeichnet die RDF-Graphen, welche die semantische Verknüpfung zwischen Dokumenten und dem Modell beschreiben. Ein grünes Icon kennzeichnet die IFC-basierten Modelldateien, während ein blaues Icon die Dokumente (hier Arbeitskarte im XML-Format) darstellt. Die anderen Inhalte werden mit einem weißen Icon gekennzeichnet (hier bspw. das XML-Schema im XSD-Format).

Einzelne Containerinhalte können selektiert werden, wodurch eine zielgerichtete Visualisierung und Bearbeitung möglich wird. Bei der Auswahl eines XML-basierten Dokuments wird beispielsweise zunächst der Inhalt textuell wiedergegeben, jedoch kann in eine formularbasierte Ansicht gewechselt werden.

Die erzeugten formularbasierten Ansichten (siehe Bild 7-1) aus der Dokumentenverwaltung-API werden im ICDD Inspektor adaptiert und ermöglichen dadurch eine interaktive Generierung und Bearbeitung von Arbeitskarten innerhalb des Werkzeugs. Dadurch können erstellte Unterlagen direkt nach der Bearbeitung mit einem Modell verknüpft werden. Erzeugte Arbeitskartendokumente können dabei teilautomatisiert ausgefüllt werden, bspw. durch das Ermitteln von vorhandenen Merkmalen auf Basis einer Objekt-Selektion aus dem Modell.

Nachfolgend werden die einzelnen Funktionen der Anwendung hinsichtlich eines containerbasierten Informationsaustausches beschrieben.

7.2.1 Initialisierung der ICDD-Container

Im Sinne des Linked-Data Ansatzes wird für die Verlinkung von Containerinhalten eine Plattform zur Verwaltung bzw. Organisation der Zuordnungen

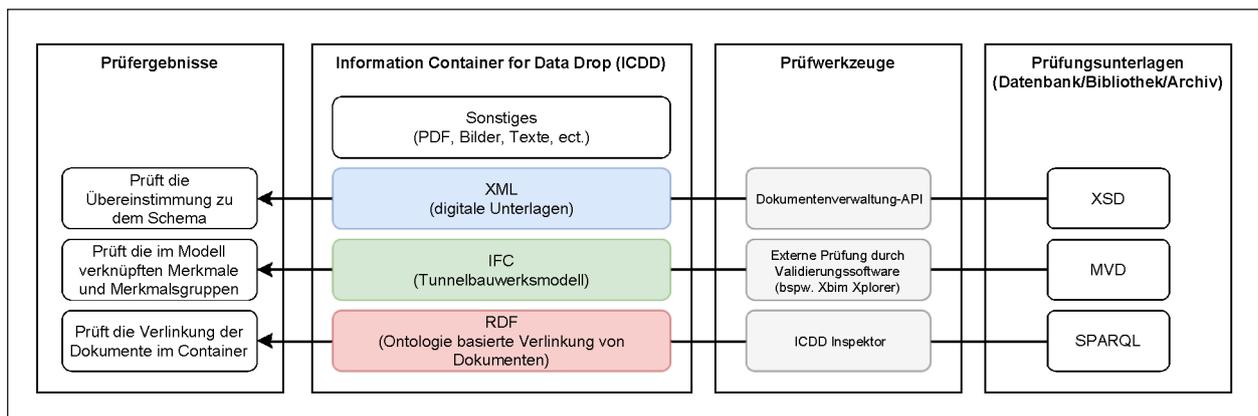


Bild 7-3: Übersicht über Containerinhalten, Prüfwerkzeugen und damit benötigte Prüfungsunterlagen

The screenshot shows the SPARQL Interface for ICDD Containers. The left sidebar displays a project tree for 'ICDD-Hochbau-Demo.icdd' with folders for 'Ontology Resources', 'Payload Documents', and 'Payload Triples'. The main area is titled 'Verwalte Verknüpfungen' (Manage Links) and contains a table with three columns: 'Dokument', 'IFC GUID', and 'Modell'. The table lists 20 rows of data, each representing a link between a document (e.g., 'Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml') and a model (e.g., '2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc'). A 'Document:' dropdown menu is set to 'Wände_und_Stützen-Arbeits...' and a 'Verbinde mit IFC Selektion' button is visible.

Dokument	IFC GUID	Modell
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	0y2hCwuCI/Y0K0stipaczm	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	1kkizg5C0MOVogGpi7N656	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	3IAM4hkjmjB4FuexWJHe_ba	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	1_8ixE3YA6Ffw0R2vXfud	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	0k5bRINV5J6HxtzU6rj32	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	1tGoN2LjDhtOt8m5416g9u	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	2RIY_4Nai1UqOmKsh3lkFp	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	3fupK8s\$ralUr7lamXguHT	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Wände_und_Stützen-Arbeitskarte.xml	3W4kra03DL2c27vM4ZxOWs	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	1e59OyYBxZeA1tV0AECsnU	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	1eNcR4looBUACfAttehKwC	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	1_4dapXcRtpPcK5DRh3fsU	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	3WksvDJYlHfntzw8JxWI	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	3eqOTR5etHlUvDbmW7HDFL	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	3N5eb_sChzqYbUdhE_mzq0	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	1VsdhTL01bz\$0JITNZCA6K	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	0g0eD45FKgEhakupk9cvZk	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	304Ev3EL8sEAmDbUCfbNGi	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc
Fenster-Arbeitskarte.xml	0xidiUyz78kXBGinCoERBC	2020-08-10_Demonstrator BIM-Modell.ifc

Bild 7-4: Tabellenbasierte Verwaltung von Verknüpfungen zur Container-Initialisierung

zwischen den Dokumenten und den entsprechenden Modellelementen benötigt. Diesbezüglich wurde in der Anwendung eine einfache, tabellenbasierte Verwaltungsfunktion integriert (siehe Bild 7-4). Die Verknüpfung zwischen Dokumenten und einzelnen Modellobjekten erfolgt über eine entsprechende Selektion, wobei jedes Objekt durch eine eindeutige Identifikationsnummer (GUID) zugeordnet werden kann.

Die vervollständigte Tabelle dient dabei als Eingangsdatensatz zur Initialisierung des Containers, bei der die RDF-Dateien `index.rdf` und `linkdataset.rdf` (siehe auch Kapitel 5.1.1) zur Beschreibung der semantischen Verknüpfung von Containerinhalten erstellt werden. Sofern sich Inhalte bzw. Informationen innerhalb des Containers verändern (bspw. durch das Hinzufügen neuer Dokumente und Verlinkungen), sind die RDF-Dateien neu zu erstellen. Insgesamt wird durch den Initialisierungsprozess ein ICDD-Container finalisiert und kann anschließend für eine modellbasierte Bearbeitung (bspw. Auswertungen, siehe unten) verwendet werden.

7.2.2 Ausführung und Verarbeitung von Abfragen

Die Anwendung ICDD Inspektor ermöglicht über die Query-Ansicht (dt.: Abfrage) das Einlesen und die Bearbeitung von projektspezifischen Bibliotheken, die Abfragen und Regeln beinhalten. Dadurch können beispielsweise die Verweise und Verlinkungen

sowie die Meta-Informationen von im Container beinhalteten RDF-Dokumenten geprüft werden. Die hierbei verwendete Abfragesprache ist SPARQL, welche komplementär zu RDF entwickelt wurde und somit entsprechend anwendbar ist.

Bild 7-5 zeigt die implementierte Benutzeroberfläche in der prototypischen Anwendung zur Erstellung und Bearbeitung der Abfragen. In dieser beispielhaften Ansicht befindet sich auf der linken Seite eine Auflistung eingelesener Abfragen (bspw. Prüfe alle verlinkten Dokumente). Durch das Auswählen einer Abfrage kann ihr Inhalt entweder nachbearbeitet oder ausgeführt werden.

Die Bearbeitung erfolgt dabei über die textbasierte Ansicht der Abfragen in einem rudimentären Editor, in dem die Prüfroutine eingefügt und bearbeitet werden kann (auf Basis von SPARQL). In der Kopfzeile (über dem Editor) können Interaktionen mit den Abfragen organisiert werden. Dazu zählt unter anderem auch die Möglichkeit, Parameter festzulegen, welche vor der Ausführung der Abfrage als Benutzereingabe verlangt werden.

Eine detaillierte Beschreibung hinsichtlich der Nutzung von Abfragen und einer damit verknüpften Parametrisierung erfolgt im Rahmen der Demonstration in Kapitel 8.

Insbesondere durch die Erstellung neuer Abfragen können bestehende Bibliotheken erweitert und nachhaltig als Projekte exportiert und archiviert werden.

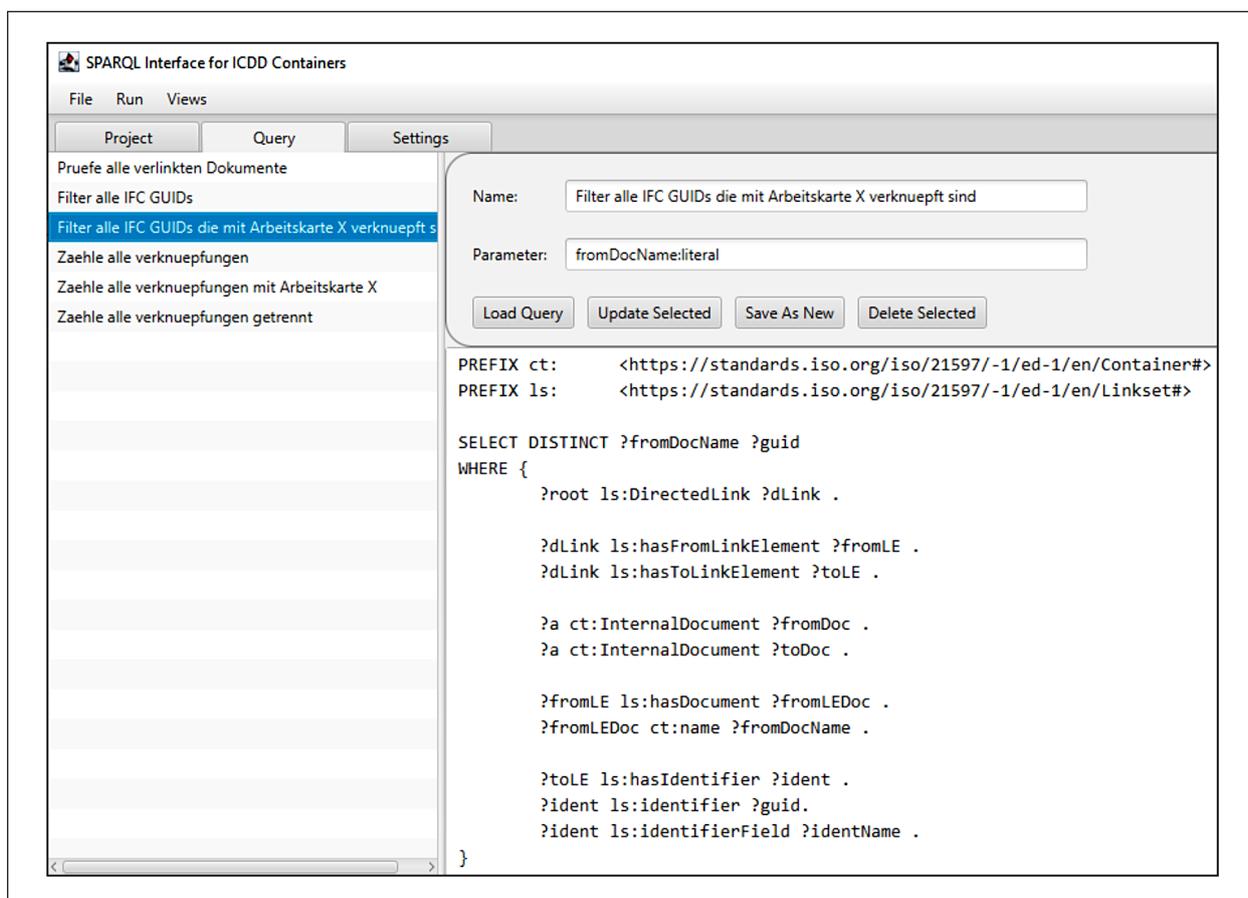


Bild 7-5: Ausführung von Abfragen zur Verarbeitung und Prüfung der ICDD

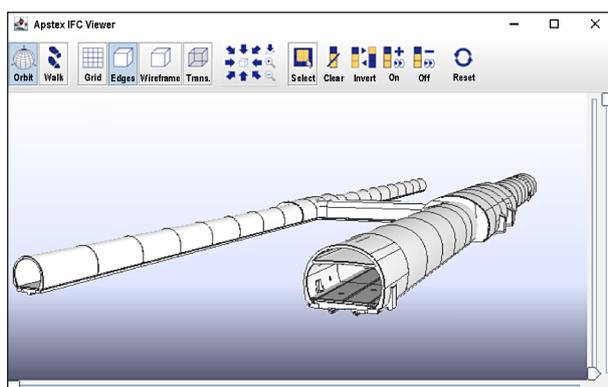


Bild 7-6: Apstex IFC Framework als Werkzeug zur Visualisierung und Interaktion von IFC Modellen

7.2.3 Visualisierung

Zwecks modellbasierter Arbeitsweise ist ebenfalls ein einfacher 3D-Viewer für IFC-Modelle in die Anwendung eingebunden (siehe Bild 7-6). Grundsätzlich stellt dieser eine austauschbare Komponente dar und ist keine zwingende Voraussetzung für die oben beschriebenen Funktionalitäten der Anwendung. Durch den Modell-Viewer wird jedoch die

Visualisierung von Abfrageergebnissen ermöglicht und durch die Selektion von Objekten kann eine teilautomatisierte Verarbeitung erfolgen. Ein weiterer Vorteil ist das Anzeigen von identifizierten Problemen, Meldungen oder Hinweisen bezüglich des containerbasierten Datenaustausches.

7.2.4 Filterung von Modellobjekten anhand von Eigenschaften

Eine weitere wesentliche Funktion ist die Filterung von Modellinhalten auf Basis von Merkmalen und Merkmalsgruppen, die mit dem IFC-Modell bzw. den darin enthaltenen Objekten verknüpft sind. Ergebnisse der Filterung werden dabei auf das IFC-Modell als sog. Objektselektion übertragen, das bedeutet, dass die entsprechenden Objekte, auf denen das Filterkriterium zutrifft, ausgewählt werden. Dadurch kann das Modell hinsichtlich des visuellen Feedbacks resultierend aus der Filterung geprüft werden. Dies ist beispielhaft in Bild 7-7 dargestellt.

Durch die Filterung kann darüber hinaus eine (teil-) automatisierte Mengenermittlung erfolgen, indem

bspw. das Modell nach Merkmalen bezüglich aufgetretener Ausfälle oder aktiver Gewährleistung durchsucht wird und die Ergebnisse entsprechend aufgearbeitet werden, beispielsweise indem die Merkmale der Objekte aus dem IFC-Modell durch programmspezifische Routinen ausgelesen und in digitalen Dokumenten (teil-)automatisiert übertragen werden.

Mit Blick auf die Betriebsprozesse von Straßentunneln ist auch die Identifikation von Merkmalen aus den aufgabenspezifischen und objektspezifischen Katalogen (siehe Kapitel 6.1.5) besonders relevant. Anhand derer kann bspw. die Lage sowie der Zustand der betriebstechnischen Ausstattung identifiziert werden.

7.2.5 Softwaretechnisches Konzept

Zur vollständigen Übersicht werden nachfolgend die einzelnen Softwarekomponenten und deren Funktionalitäten zusammenfassend erläutert, welche zur Umsetzung der Anwendung ICDD Inspektor angewendet wurden. Die Implementierung erfolgte dabei grundlegend als Java-Applikation (openJDK 15).

Die Programmierschnittstelle zur Dokumentenverwaltung aus Kapitel 7.1 ist ebenfalls Bestandteil dieser Implementierung, indem es die erzeugten Formularansichten in den ICDD Inspektor mit einbindet.

Grundsätzlich können die einzelnen Softwarekomponenten bzw. die eingebundenen Bibliotheken als

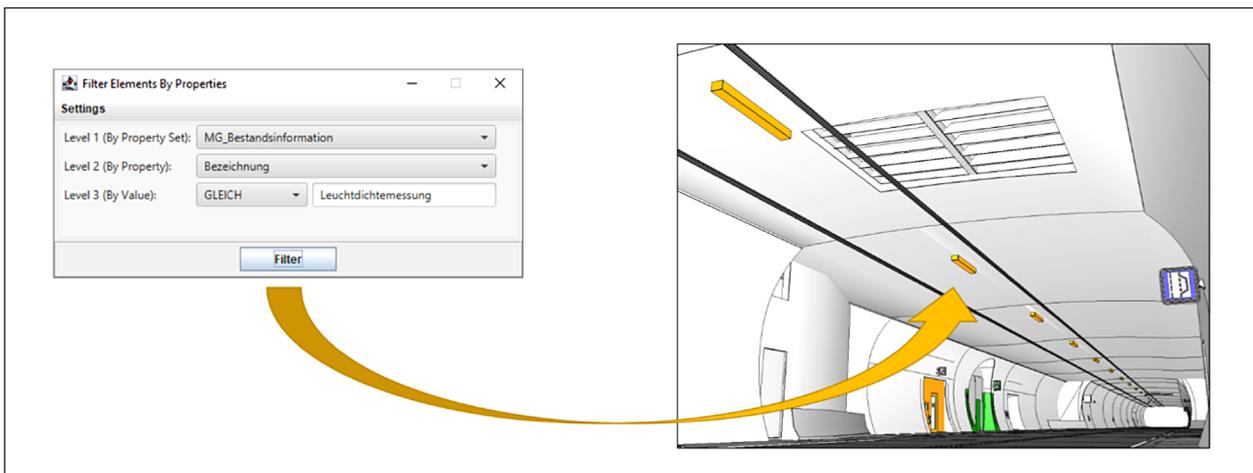


Bild 7-7: Filterung von Tunnelleuchten anhand von verknüpften Merkmalen

Name	Funktion	Version
JavaFX	Ermöglicht es modernere Benutzeroberflächen nativ in Java zu gestalten.	12.0.2
JAXB	Verfügt über Funktionalitäten zur Verarbeitung und XSD/XML basierten Dokumenten. Wird verwendet, um digitalisierte Dokumente zu verarbeiten.	2.2.11
Apache Jena	Hierbei handelt es sich um eine Funktionseinheit zur Erstellung und Abfrage von RDF-Graphen. Wird hier genutzt, um die Verlinkung innerhalb der ICDD zu bearbeiten.	3.16.0
JSON	Eine einfache Bibliothek mit IO-Funktionalitäten (Input/Output bzw. Eingabe/Ausgabe) für textbasierte .json Dokumente. Wird verwendet um Informationen der Anwendung persistent zwischenspeichern.	20210307
(com.predic8) Membrane SOA Model	Besitzt Funktionen für den Vergleich von XSD/XML Dokumenten, was eine effiziente und einfache Validierung selektierter Unterlagen ermöglicht.	1.6.3
Apstex IFC Framework	Ein einfacher in Java implementierter IFC-Viewer mit Funktionen zum Selektieren, Navigieren, und Filtern von Modellspezifischen Inhalten.	4.5.1

Tab. 7-1: Übersicht der eingesetzten softwaretechnischen Komponenten

exemplarisch und austauschbar betrachtet werden, sofern die Funktionen anderweitig abgedeckt werden.

7.3 Validierung durch Model View Definition

Der Standard der Model View Definition (MVD) wird seit seiner Veröffentlichung nicht nur zur Modell-Dokumentation, sondern auch zur Validierung von Modellen genutzt. Das Datenmodell wird von buildingSMART als XML-Schema (XSD) publiziert und verfügbar gehalten [91]. Entsprechend existieren Implementationen der MVD Spezifikation als Open Source Anwendungen und sind vergleichbar mit der Implementation der Arbeitskarten (siehe Kapitel 5.2.2).

Entsprechend werden MVD als XML-basiertes Format angelegt (mit Dateierdung mvdXML). Diese enthält Informationen für den Validierungs-Regel-satz, welcher auf dem Modell angewendet werden soll. Es wird konkret gegen die definierten und zusammengetragenen Merkmale und Merkmalsgruppen validiert, was bedeutet, dass entsprechende Prüfroutinen die Vollständigkeit der AIA modellbasiert untersuchen können.

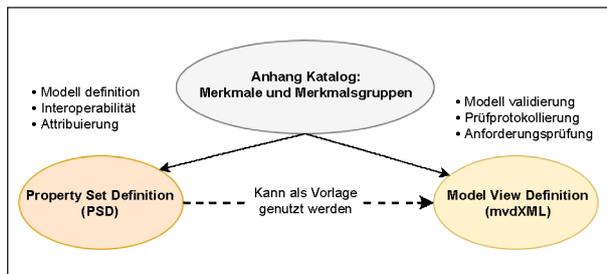


Bild 7-8: Zusammenhang zwischen Merkmalsgruppen, PSD und MVD

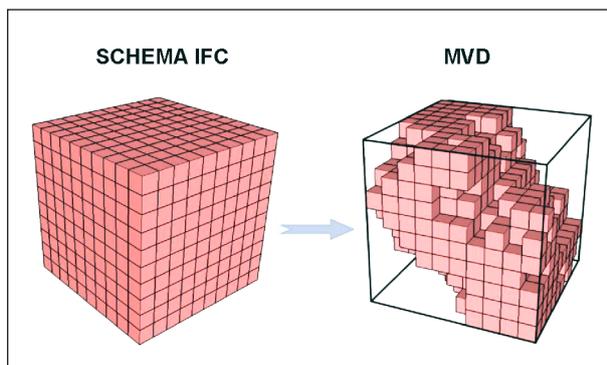


Bild 7-9: Die MVD als eine gefilterte Ansicht, die einen Teil, oder alle Informationen des gesamten Schemas aufnimmt [92]

Grundlegend hängt die Definition einer MVD mit dem Katalog der Merkmale und Merkmalsgruppen zusammen (Bild 7-8), da im einfachsten Fall nach der Existenz der Eigenschaften untersucht wird. Zusätzlich kann aber auch die Korrektheit der Werte mit in die Prüfung aufgenommen werden.

Das Resultat der Anwendung einer MVD ist ein Teil-Datensatz aus dem Gesamtschema, auf dem die Prüfung ausgeführt wurde (Bild 7-9).

7.4 Potenziale einer Webplattform als CDE-Anbindung

Insbesondere die interaktive, digitale Bearbeitung von Arbeitskarten aber auch komplementäre Informationssysteme wie ein Ticketsystem setzen voraus, dass alle beteiligten Akteure miteinander vernetzt sind. Zu einem Ticketsystem gehören bspw. Modellansichten, Zustandsinformationen, Rollenfestlegungen, Kommentare, Zeitstempel und Signaturen.

Um die Vernetzung zu gewährleisten, bietet die Implementierung einer Webbasierten Anwendung, in der Containerinhalte über eine CDE-Anbindung kommuniziert werden können, eine praktikable Lösung. Die Anbindung an das CDE-System bedeutet, dass eine Webplattform den Upload von ICDD-Container und Inhalten über die Plattform an das Dokumentenmanagement delegiert. Es fungiert hierbei als Werkzeug zur Historisierung und sicheren Datenablage.

Die prinzipielle Funktionsweise und ihre Potenziale werden nachfolgend anhand einer beispielhaften Ticketsystemanwendung beschrieben:

Ticketinformationen als Datei im Payload Documents-Ordner

In den erstellten Containern können Ticketinformationen hinterlegt werden. Auf der einen Seite können Ticketinformationen direkt im Payload Documents Ordner als Datei hinterlegt werden. Es ist in diesem Fall somit ein zusätzliches Dokument, welches gesondert die Zusammenhänge innerhalb des Containers ergänzt und erklärt. Bei diesem Dokument handelt es sich im einfachen Fall um ein XML-Dokument, welches auf Basis eines XML-Schemas konstruiert wurde, vergleichbar mit den digitalen Arbeitskarten (siehe Kapitel 5.2.2).

Eine Alternative besteht darin, hier auf standardisierte Formate zurückzugreifen, wie dem BCF-Format (siehe Kapitel 5.2.3). Durch BCF kann zusätzlich ein Teil der IFC-modellspezifischen Informationen mit ausgewertet und abgelegt werden, wie bspw. eine Modellansicht als Bilddatei mit Kamera-Koordinaten und Ausrichtung oder eine mitgelieferte Selektion von IFC-Objekten als Diskussionsgrundlage. Dies ist als modellbasierte Arbeitsweise im BIM-basierten Kontext als vorteilhaft zu bewerten. Vor allem da der BCF-Standard als offenes Format eine weit verbreitete Anwendung unter den Autorentools darstellt.

Ticketinformationen als zusätzliche Semantik im Payload Triples-Ordner

Auf der anderen Seite können Ticketinformationen auch als zusätzliche Semantik im Ordner Payload Triples (als RDF-Dokument) aufgenommen werden, da auf den bereits vorhandenen Meta-Informationen des ICDD-Containers aufgebaut werden kann. Demnach sind im Container bereits die Verlinkungen, Bezeichnungen der Ressourcen und Datumsangaben vorhanden, welche von einer Ticket-system-Semantik adaptiert werden können. Somit kann der Fokus verstärkt auf die Erfassung von Zuständen und die Projekt-Kommunikation gelegt werden, ohne dabei die Integrität vorhandener Daten im Container zu missachten.

Grundsätzlich sind Ticketinformationen als beschreibende Daten zu betrachten, welche ganzheitlich zu dem Container und allen seinen enthaltenen Dokumenten erfasst werden. Die Ticketinformationen können hierbei durch eine zusätzliche Ontologie beschrieben werden, welche dem Ontology Resources Ordner beigelegt wird und das verwendete Vokabular der Ticketinformationen standardisiert. Daraus resultiert der maßgebendste Vorteil, dass dadurch Ticketinformationen durch eine Abfragesprache (SPARQL) verarbeitbar gestaltet werden können.

Zusammenfassend sind somit die Ticketinformationen als zusätzliche Semantik, die im Payload Triples-Ordner hinterlegt ist, die optimierte Lösung zur Erfassung der Daten für ein Ticketsystem.

Die Implementierung als zusätzliche Semantik erfordert jedoch einen erhöhten Standardisierungsaufwand, weshalb im Rahmen dieses Projekts zunächst der Ansatz mit den Ticketinformationen im BCF-Format umgesetzt wird.

Beispielhafte Mockup-Anwendung

Durch eine Webplattform können die Ticketinformationen aus den Containern ausgelesen und Prozesse entsprechend gesteuert werden. Ein entsprechendes Mockup eines Ticketsystems auf Basis von BCF-Informationen ist in Bild 7-10 dargestellt.

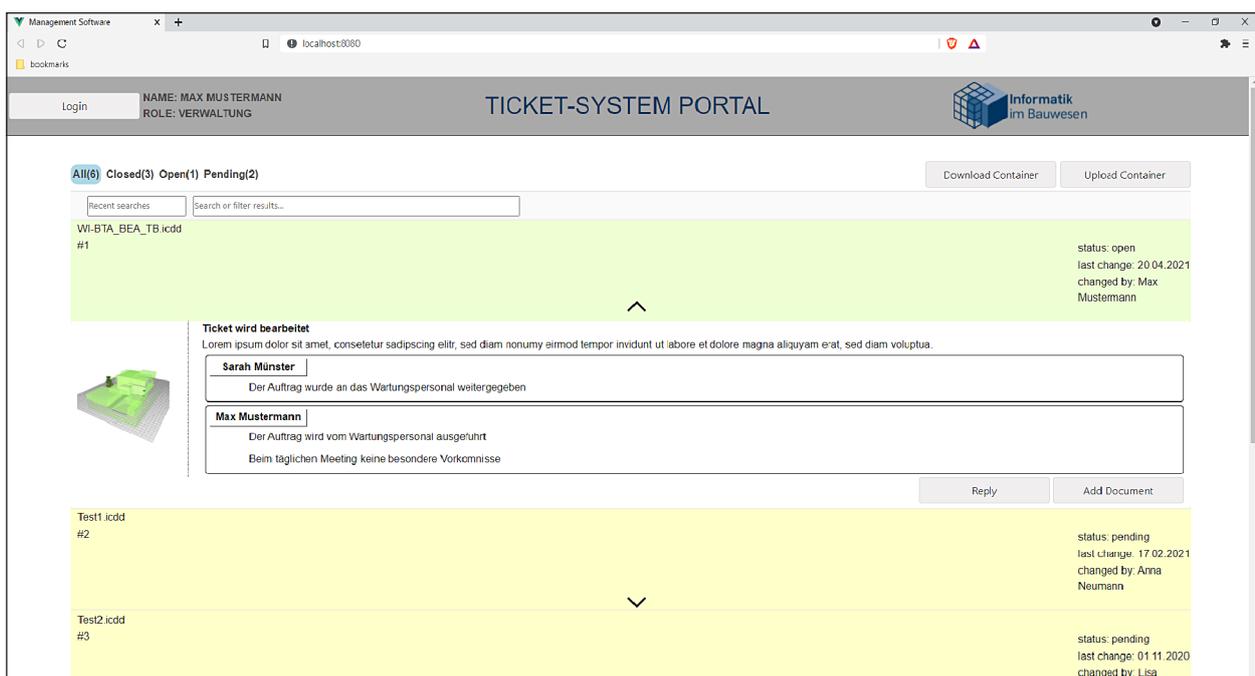


Bild 7-10: Mockup eines Ticketsystems auf Basis von BCF-Informationen

Kern einer solchen Webplattform ist die benutzer- und rollenbasierte Verwaltung von Tickets.

Wer welches Ticket einsehen und verarbeiten darf, wird in der Regel durch eine Benutzerverwaltung mit Freigabesystem geregelt. ICDD-Container werden direkt als Ticket in die Plattform hochgeladen. Voraussetzung ist, dass der Container ein entsprechendes BCF-Dokument enthält, aus dem Ticketinformationen verarbeitet werden können. Beispielsweise werden Tickets farblich auf Basis des angegebenen Zustandes gekennzeichnet (grün für Zustand offen, oder gelb für Zustand ausstehend). Eine Steuerungsleiste ist üblicherweise immer Bestandteil eines Ticketsystems, wodurch ältere Einträge auf Basis von Titel, Datum, oder Zustände sortiert werden können. Da alle Tickets über eine interne CDE verwaltet werden, ist hier die Applikation einer Historisierung denkbar. Jedes Ticket wird mit den wesentlichsten Informationen, wie bspw. Titel oder letztes Änderungsdatum, als weiterer Eintrag in die Liste der Tickets aufgenommen. Eine Detailansicht kann zusätzlich eingeblendet werden, wodurch BCF-Informationen veranschaulicht werden. Zum Ticketsystem gehört allerdings auch ihrer Bearbeitung. Demnach können Containerinhalte nach Bedarf direkt digital bearbeitet werden.

Als Beispiel für die digitale Bearbeitung von Unterlagen im Ticketsystem können hier die Arbeitskarten betrachtet werden. In Bild 7-11 ist eine webba-

sierte Darstellung des Formulars aus Kapitel 5.2.2 zu sehen. Angenommen, die Kommunikation zwischen Verwaltung- und Wartungspersonal erfolgt über solch eine Plattform, dann können Arbeitskarten direkt über das Ticketsystem abgestimmt oder sogar angelegt werden. Es erfordert dafür die Implementierung einer entsprechenden Schnittstelle zur Verarbeitung der Dokumente, welche hier im Rahmen des Projekts prototypisch im ICDD Inspektor als Desktop-Anwendung exemplarisch umgesetzt wurde (siehe Kapitel 7.2). Die prototypische Implementierung gleicht hierbei der webbasierten Ansicht.

8 Demonstration

In diesem Kapitel werden der ICDD-Container, seine Funktion und das Zusammenwirken im Rahmen der modellbasierten Demonstrationen von den identifizierten BIM-basierte Prozessen veranschaulicht. Die Demonstration verwendet dabei die im Kapitel 7 vorgestellten prototypischen Implementierungen und nutzt vordefinierte Anfragen zur Prüfung von Abhängigkeiten sowie der Vollständigkeit und der Korrektheit der Unterlagen. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Demonstration nur einen Einblick in die Arbeitsweise und der damit verbundenen erforderlichen Datenhaltung aufzeigen soll.

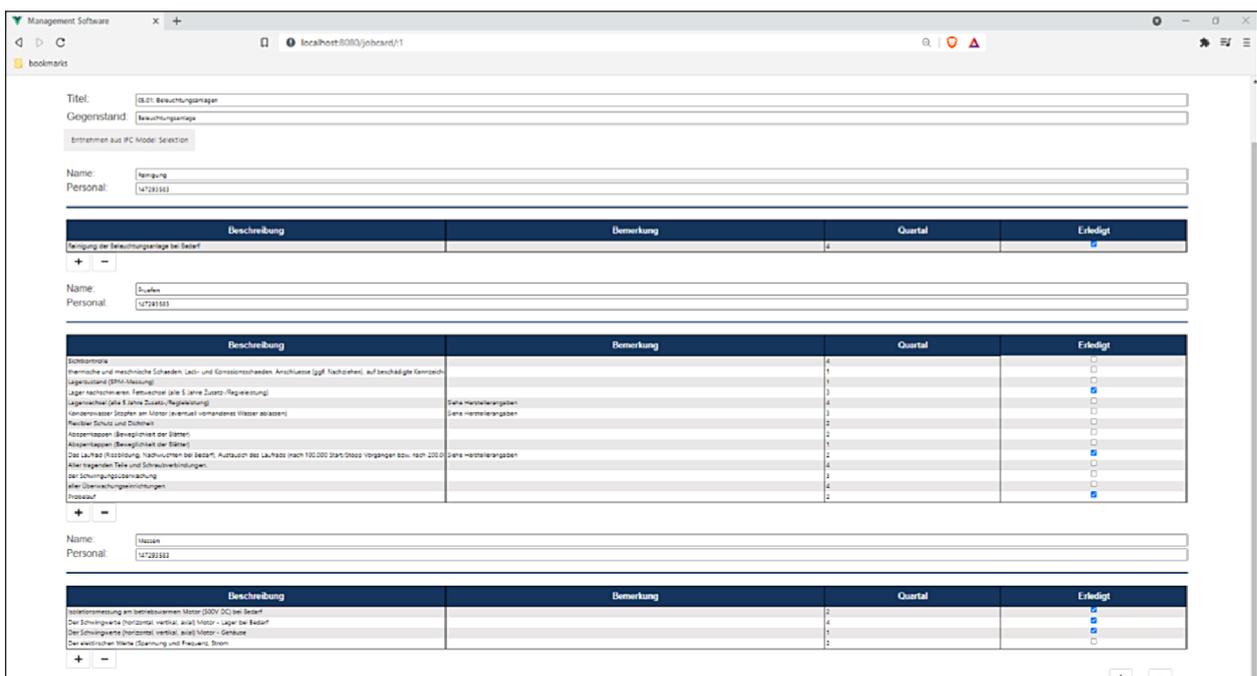


Bild 7-11: Bearbeitung einer Arbeitskarte direkt über die Webplattform und gesteuert durch das Ticketsystem

Aufgrund des Umfangs der betrachteten Datengrundlagen und des entwickelten Datenmodells ist eine vollständige Demonstration der Prozesse an allen betriebsrelevanten Objekten eines Straßentunnels im Rahmen dieses Projektes nicht umsetzbar. Stattdessen wird die Aufbereitung des Modells und der Unterlagen auf spezifische Fälle und Szenarien beschränkt (hier: Wartung und Inspektion der Beleuchtungsanlage).

8.1 Beschreibung des Demonstrator-Modells

Der erarbeitete modelltheoretische Ansatz für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement wird nachfolgend anhand eines Demonstrators veranschaulicht und weiter evaluiert. Dafür wird ein BIM-Modell herangezogen, welches im Rahmen eines Praxisprojekts erstellt wurde und für die Bearbeitung bzw. Evaluierung im Rahmen des Forschungsprojekts zur Mitbenutzung freigegeben wurde. Das Modell fungiert hierbei als Informationsträger der Merkmale und Merkmalsgruppen (siehe Kapitel 6.1.5) und ist zudem zentraler Gegenstand zur

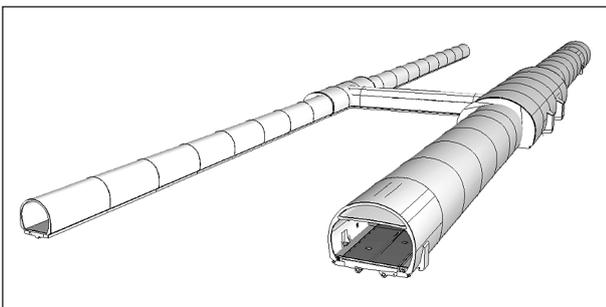


Bild 8-1: Gesamtansicht des Demonstrator-Tunnelmodells

Verlinkung zusätzlicher Arbeitskarten, wie bspw. Arbeitskarten oder technische Datenblätter.

Das hier eingesetzte Modell repräsentiert den Krauertunnel, welcher derzeit im Zuge der geplanten Ortsumgehung B23 Garmisch-Partenkirchen errichtet wird (Fertigstellung voraus. Ende 2024).

Insgesamt soll die Länge des einröhrigen Tunnelbauwerks 3.609 m betragen. Zusätzlich wird ein Rettungstunnel errichtet (siehe Bild 8-1). Das Bauwerk wird in geschlossener Bauweise (Spritzbetonbauweise, weitestgehend mit Sprengvortrieb) mit zweischaliger Tunnelröhre errichtet. Zwecks Ableitung von Bergwasser wird ein entsprechendes Drainagesystem errichtet, während in den Lockergesteinsbereichen die Innenschale in Form einer druck- und wasserdichten Beton- und Abdichtungs-konstruktion erstellt wird. Grundsätzlich erfolgt die Abdichtung gemäß dem Regenschirmprinzip, das heißt, im Gewölbbereich werden Kunststoffdichtungsbahnen verlegt. [93]

Die betriebstechnischen Parameter setzt sich wie folgt zusammen:

- Betrieb im Gegenverkehr
- 13 Querschläge
- Beleuchtungsanlage mit 174 Adaptionleuchten und 479 Durchfahrtsleuchten (LED-Technik)
- Funkversorgung für Einsatzdienste
- Anbindung an Verkehrs- und Betriebszentrale zur Überwachung
- Längslüftung mit 16 Strahlventilatoren über den gesamten Tunnel sowie einer Rauchabsaugung

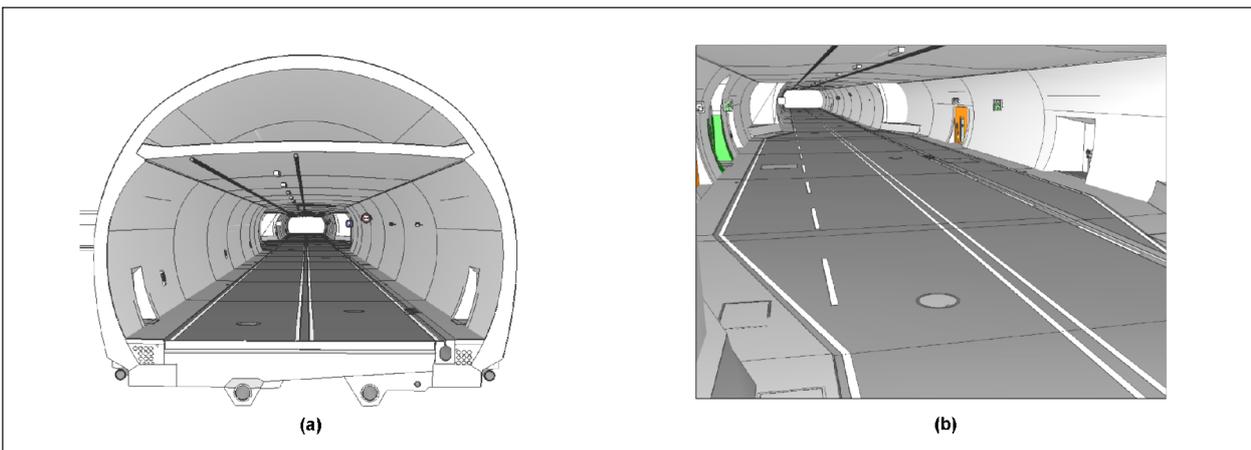


Bild 8-2: Querschnitt des Demonstrator-Tunnelmodells (a) und eine Ansicht der technischen Ausstattung im Tunnelinnern (b)

mit 2 Abluftventilatoren im Innenbereich. Der Rettungstunnel wird mittels Überdruckbelüftung betrieben.

- drei Betriebsgebäude

Bild 8-2 zeigt sowohl eine Ansicht des Querschnitts (a) als auch einzelne betriebstechnische Ausstattungen wie Notausgänge und Notrufkabinen (b). Das Demonstrator-Modell umfasst dabei ca. 20 Blöcke des gesamten Tunnels.

Das Modell wurde mit der Autorensoftware REVIT erstellt und in IFC 2x3 exportiert. Das Modell wurde daraufhin mit Eigenschaftssätzen basierend auf den erarbeiteten Merkmalsgruppen und Merkmalen für ein Betriebsmodell (siehe Anhang 4) ausgestattet. Hierzu wurden zur technischen Umsetzung die Merkmalsgruppen in `IfcPropertySet`'s überführt. Daraus ergibt sich das Datenmodell, welches die Grundlage für die Demonstration bildet.

Wichtig abzugrenzen ist, dass auf Grund der Tatsache, dass sich der Kramertunnel derzeit im Bau befindet, artifizielle Bestandsdaten verwendet werden, die teilweise aus den vorliegenden Unterlagen zum Branichtunnel hervorgehen.

8.2 Beschreibung der ausgewählten Anwendungsfälle

Der Fokus der Demonstration liegt auf den konkreten Informationsaustauschpunkten aus den betrachteten Prozessen (siehe Kapitel 5.2) und soll dabei idealtypisch aufzeigen, wie die Verarbeitung der Informationen im BIM-basierten Ansatz erfolgt. Die ermittelten Potenziale der BIM-basierten Arbeitsmethodik für die Betriebsphase von Straßentunneln werden somit beispielhaft veranschaulicht (hier insbesondere die Erstellung und Bearbeitung digitaler Arbeitskarten und die Filterung einzelner Merkmale).

Handover

Der Handover-Prozess (siehe auch Kapitel 5.2.1) beschreibt die Informationslieferung aller relevanten Bestands- und Betriebsinformationen, genauer formuliert, die Erstellung des Betriebsmodells auf Basis des As-built-Modells.

Das As-built-Modell wird dabei in der Regel aus dem Koordinationsmodell abgeleitet, dass sich aus den einzelnen Fachmodellen während der Bauausführung zusammensetzt. Mit Bezug zum BIM-basierten Handover-Prozess bedeutet dies, dass das As-built-Modell mit weiteren Betriebsinformationen angereichert werden muss. Auf der anderen Seite können jedoch auch Informationen aus der Planungs- und Ausführungsphase ggf. entfernt werden.

In Anlehnung daran wurde der Demonstrator (siehe Kapitel 8.1) mit Informationen der LOINs (siehe Anhang 2) erweitert und stellt somit ein Betriebsmodell dar, welches im letzten Schritt des Handover-Prozesses übermittelt wird. Spezifisch wurden hier die LOIN HB-TBW-001-LOIN und HB-BTA_BEA-001-LOIN verwendet. Eine Übersicht der Inhalte des erstellten ICDD für das Handover ist in Bild 8-3 zu sehen.

Wartung und Inspektion

Der Prozess der Wartung und Inspektion (siehe Kapitel 5.2.2) beschreibt den Informationsaustausch zwischen den Rollen eines Auftraggebers (Verwaltungsbehörde) und eines Auftragnehmers (Wartungsunternehmen). Konkret, wurden hierbei im BIM-basierten Prozess zwei Informationslieferungs-Punkte ermittelt. Auf der einen Seite das Bereitstellungsverfahren, bei dem bei einer bevorstehenden Wartung und Inspektion Unterlagen (insbesondere die digitalen Arbeitskarten) und Modelle übermittelt werden.

Auf der anderen Seite die Übermittlung der getätigten Wartungs- und Inspektionsmaßnahme in Form von aktualisierten Unterlagen und einer Berichterstattung. Entsprechend ist das bereitgestellte IFC-Modell mit wartungsrelevanten Informationen auszustatten. Die Detaillierung der Informationslieferung wird über die LOIN WI-BTA_BEA_TB-001-LOIN und WI-BTA_BEA_TB-002-LOIN beschrieben. Beide Informationslieferungen werden als ICDD-Container übertragen und verwaltet, wie in Bild 8-4 dargestellt.

Eine Übersicht der Inhalte des erstellten ICDD für den Prozess der Wartung und Inspektion ist in Bild 8-4 zu sehen.

Exchange Requirements Model		
Name:	Abnahme des Betriebsmodells	
Identifizier:	ER4_ICDD_Handover	
Description:	Name	Type
Index:	Index	rdf
Ontology Resources:	Container	rdf
	LinkSet	rdf
Payload Documents:		
	Anlagenkennzeichnung	Ordner/pdf
	Bestandsplaene	Ordner/pdf
	Bestandsunterlagen	Ordner
	↳ Aufstellungsplane	Ordner/pdf
	↳ Beschreibung der Funktion der Gesamtanlage und aller Teilanlagen	Ordner/pdf
	↳ Bestandskarten	Ordner/pdf
	↳ Datenpunktliste fuer Ueberwachung, Steuerung, Regelung, Meldung	Ordner/pdf
	↳ Erdungsplaene	Ordner/pdf
	↳ Erlaeuterung der Stoermeldungen	Ordner/pdf
	↳ Kabelverlegungsplaene	Ordner/pdf
	↳ Klemmplaene und Schaltbild fuer jede Verteilung	Ordner/pdf
	↳ Montageplaene	Ordner/pdf
	↳ Niederschriften der Pruefergebnisse	Ordner/pdf
	↳ Prinzipschaltplaene	Ordner/pdf
	↳ Programme mit aktueller, vollstaendiger Softwaredokumentation	Ordner/pdf
	↳ Regelungsschema	Ordner/pdf
	↳ Stromlaufplaene	Ordner/pdf
	Bauwerksakte	zip
	Bauwerksbuch	zip
	Bauwerksverzeichnis	zip
	Produktdatenblatt	Ordner/pdf
	Tunnelbauwerk	ifc
Payload triples:		
	Linkset-Dataset (Verlinkungssemantik)	rdf

Bild 8-3: Inhalt des ICDD-Containers für den letzten Datenaustausch-Schritt im BIM-basierten Handoverprozess

Exchange Requirements Model			Exchange Requirements Model		
Name:	Abnahme des Betriebsmodells		Name:	Tunnel Wartungsdokumentation	
Identifizier:	ER4_ICDD_Handover		Identifizier:	ER2_ICDD_Tunnel_Maintenance_Assessment	
Description:	Name	Type	Description:	Name	Type
Index:	Index	rdf	Index:	Index	rdf
Ontology Resources:	Container	rdf	Ontology Resources:	Container	rdf
	LinkSet	rdf		LinkSet	rdf
Payload Documents:			Payload Documents:		
	Wartungshinweise	Ordner/pdf		Bericht	Ordner/pdf
	03.00_Tunnelleuchten-Arbeitskarte	xml		03.00_Tunnelleuchten-Arbeitskarte (ausgefüllt)	xml
	03.01_Lichtwerterfassung-Arbeitskarte	xml		03.01_Lichtwerterfassung-Arbeitskarte (ausgefüllt)	xml
	Arbeitskarte_Schema	xsd		Arbeitskarte_Schema	xsd
	Tunnelbauwerk	ifc		Tunnelbauwerk_v2	ifc
Payload triples:			Payload triples:		
	Linkset-Dataset (Dokumentenverlinkung)	rdf		Linkset-Dataset (Dokumentenverlinkung)	rdf

Bild 8-4: Inhalt der ICDD-Container für die Datenaustausch-Punkte im BIM-basierten Wartungs- und Inspektionsprozess

8.3 Auswahl von praxisrelevanten Abfragen

Für die Bearbeitung der Prozesse werden eine Reihe von Abfragen benötigt, welche direkt zur Prüfung der Verlinkung von Container-Inhalten genutzt werden können. Eine Abfrage ist hierbei eine in SPARQL formulierte Prüfung, welche unterschiedliche Ergebnisse auf Basis gefilterter RDF-Graphen zurückgibt. Folgende Ergebnisse können beispielhaft ermittelt werden:

- Die Anzahl von Elementen
- Identifikationsnummern von Elementen
- Teilgraphen auf Basis gestellter Kriterien

Die Abfragen werden dabei auf den RDF-Dokumenten ausgeführt, welche die Graphen-Strukturen zur Filterung beinhalten. Unter Umständen nutzen Ab-

fragen mehrerer Quellen gleichzeitig, um übergreifende Informationen für kombinierte Abfragen zu nutzen. Die genutzte Syntax der implementierten Abfragen ist hierbei Teil eines veröffentlichten Standards [94] und zählt zum wesentlichen Bestandteil von Semantik-Web.

Nachfolgend werden in einer Übersicht die implementierten Abfragen zwecks Umsetzung am Demonstrator dargestellt (siehe Bild 8-5). Bei den RDF-Dokumenten Index und linkset-dataset handelt es sich um die herkömmlichen Dateien die laut der Spezifikation der ISO-Norm innerhalb der ICDD angegeben werden müssen.

Tabelle 8-1 gibt eine detaillierte Übersicht mit Beschreibung über die implementierten Abfragen, welche am Demonstrator umgesetzt werden sollen.

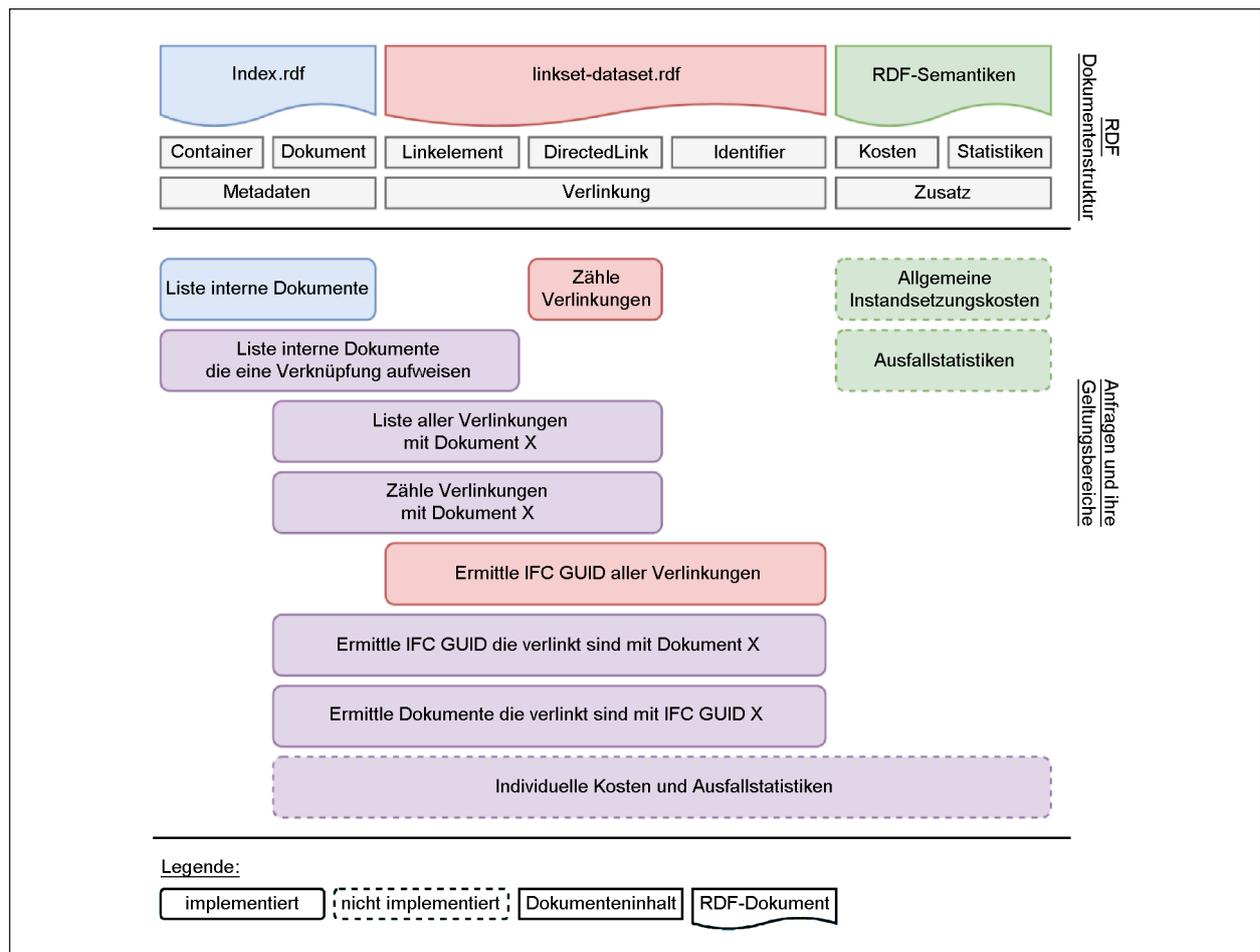


Bild 8-5: Übersicht der Betrachteten Abfragen für eine Exemplarische Umsetzung üblicher Prüfprozessen

Nr.	Bezeichnung	Status	Eingabe	Ausgabe	Beschreibung
1	Liste interne Dokumente	Implementiert	/	Namen aller Dokumente in Payload Documents	Liest den Inhalt aus der Index.rdf Datei aus und gibt eine Auflistung aller im Container bekannten und genutzten Dokument wieder. Diese Auflistung entspricht dem Inhalt aus dem Payload Documents Ordner.
2	Liste interne Dokumente die eine Verknüpfung aufweisen	Implementiert	/	Namen aller Dokumente die in Payload Triples verlinkt sind	Liest den Inhalt aus der Index.rdf Datei aus und gibt eine Auflistung aller im Container bekannten und genutzten Dokument wieder.
3	Zähle Verlinkungen	Implementiert	/	gesamte Anzahl gezählter Directed-Link-Objekte	Zählt die Anzahl aller DirectedLink-Objekte aus dem linkset-dataset.rdf.
4	Zähle Verlinkungen mit Dokument X	Implementiert	Namen eines spezifischen Dokuments	Anzahl gezählter Directed-Link-Objekte pro Dokument	Zählt die Anzahl aller DirectedLink-Objekte aus dem linkset-dataset.rdf, wenn sie mit einem Spezifischen Dokument verknüpft sind.
5	Liste alle Verlinkungen mit Dokument X	Implementiert	Namen eines spezifischen Dokuments	Auflistung aller Verlinkungen mit dem Angegebenen Dokument	Liest die DirectedLink-Objekte aus dem linkset-dataset.rdf aus und listet diese, falls Sie eine Verknüpfung mit dem Angefragten Dokument ausweisen.
6	Ermittle IFC GUID aller Verknüpfungen	Implementiert	/	Auflistung aller gefundenen GUID's	Filtert alle Identifier und gibt diese zurück, wenn Sie eine GUID enthalten.
7	Ermittle IFC GUID die verlinkt sind mit Dokument X	Implementiert	Namen eines spezifischen Dokuments	Auflistung aller gefundenen GUID's	Filtert alle Identifier und gibt diese zurück, wenn Sie eine GUID enthalten und mit dem Dokument verlinkt sind.
8	Ermittle Dokument die verlinkt sind mit IFC GUID X	Implementiert	GUID eines spezifischen IFC-Objekts	Auflistung aller gefundenen Dokumente	Filtert alle Relationen und gibt den Namen der Dokumente zurück, wenn sie eine Verlinkung mit der GUID aufweisen.
9	Allgemeine Instandsetzungskosten	Nicht implementiert	/	Ermittelter Kostenbetrag	Ermittelt die Gesamt-Instandsetzungskosten, die angefallen sind.
10	Ausfallstatistiken	Nicht implementiert	/	Auflistung Wartungsintensiver Objekte	Ermittelt eine statistische Übersicht über Wartungsintensive Objekte.
11	Individuelle Kosten und Statistiken	Nicht implementiert	/	Angefallene Kosten pro Objekt	Ermittelt die Instandsetzungskosten die außerhalb der Gewährleistung angefallen sind.

Tab. 8-1: Detaillierte Auflistung der implementierten Abfragen, mit Beschreibung, sowie Ein- und Ausgaben

8.4 Durchführung am Demonstrator

Nachfolgend wird exemplarisch eine Umsetzung am Demonstrator dargestellt und die Funktionalität des entwickelten Datenmodells sowie der komplementären Prüf- und Hilfswerkzeuge gezeigt. Als Beispielobjekt wurde hier die Beleuchtungsanlage (als Teil der betriebstechnischen Ausstattung) herangezogen.

8.4.1 Prüfung der ICDD-Initialisierung für das Handover

Für den Handover-Prozess ist es erforderlich, die Vollständigkeit und den Umfang der überreichten Unterlagen zu prüfen. In der BIM-basierten Arbeitsweise erfolgt die Prüfung (teil-)automatisiert. Hierbei wird unterschieden zwischen einer ganzheitlichen Prüfung des Containers und ihrer Verknüpfung sowie einer partiellen Prüfung der einzelnen Unterlagen. Darüber hinaus sind auch die Eigenschaftssätze, die mit dem IFC-Modell zu verknüpfen sind, zu prüfen.

Quantitative Vollständigkeitsprüfung der Unterlagen

Die quantitative Vollständigkeitsprüfung des Containers ermöglicht es den Umfang der Unterlagen zu prüfen. Idealtypisch sollen bspw. technische Datenblätter und Pläne zum Modell zugeordnet werden, um eine modellbasierte Ermittlung relevanter Dokumente zu ermöglichen. Demnach enthält das linkset-dataset.rdf explizit Verlinkungen bestehend aus der Zuordnung von Dokument zur IFC-Objekt Identifikationsnummer (GUID).

Durch die Ausführung einer entsprechenden Abfrage können dann bspw. die enthaltenen Dokumente und die Anzahl der angegebenen Verlinkungen in einer Übersicht dargestellt werden. Das Ergebnis dieser Abfrage ist in Bild 8-6 dargestellt. Zwecks Prüfung, ob alle nötigen Verlinkungen enthalten sind, kann die ermittelte Anzahl der Verlinkungen gegen die Anzahl der Objekte im Modell verglichen werden.

Als Beispiel: ist bekannt, dass im Modell exakt 23 Tunnelleuchten verbaut sind, dann sollte die ermittelte Anzahl der Verlinkungen zum technischen Datenblatt zu der Anzahl der Tunnelleuchten passen.

Partielle (qualitative) Prüfung der Unterlagen

Die partielle Prüfung der Unterlagen prüft auf Vollständigkeit und erfordert eine individuelle Betrachtung einzelner Unterlagen. Hierbei besteht die Voraussetzung, dass die Unterlagen maschinell ver-

arbeitet werden können und nicht in einem unstrukturierten Format vorliegen (bspw. PDF). Hier sind explizit Dokumente und Modelle zu betrachten, welche auf Basis von Schemata und Datenmodelle erzeugt wurden (bspw. digitale Arbeitskarten und IFC-Modelle).

Prüfung der verknüpften Eigenschaftssätze

Neben den Unterlagen ist auch die Prüfung der Vollständigkeit von Eigenschaften, die mit dem IFC-Modell verknüpft sind, wichtig. Dafür können Prüfungen mittels der Model View Definition angewendet werden (siehe auch Kapitel 7.3).

Ein MVD wird üblicherweise als eine Prüfroutine angewandt, welche pro geprüftes Objekt im Modell ein Prüfergebnis produziert, nachdem gefiltert werden kann. Resultate dieser Prüfung sind beispielsweise die Zustände Passed, Not Passed oder Not Applicable. So kann voll automatisiert geprüft werden, an welchen Objekten die Auszeichnung der Merkmale und Merkmalsgruppen vollständig umgesetzt wurde und wo noch Nachbesserungen erforderlich sind (siehe Bild 8-7).

Ein umfangreicher Katalog von MVD wäre somit in der Lage, einen Großteil der AIA am Modell zu kontrollieren und mögliche Fehler für weitere Prozesse vorzubeugen. Es verhindert beispielweise eine fehlerhafte Zählung von Objekten durch Abfragen oder potenzielle Fehler bei der weiteren Verknüpfung von Merkmalsgruppen und Merkmale.

The screenshot shows the SPARQL interface for ICDD Containers. The left pane displays a project tree with folders like 'ICDD Handover (COMPLETE) icdd', 'index.rdf', 'Ontology Resources', and 'Payload Documents'. The main area shows a table with columns 'Verlinkungen mit Modell' and 'Dokumenten Name'. The table contains 23 rows of data, each representing a document link and its count. An annotation 'modellbasierte Prüfung' points to the table. Another annotation 'Zählung der Tunnelleuchten im Modell (23 Stück)' points to a 3D model of a tunnel with 23 light fixtures. A third annotation 'Kontrolle zwischen Modellprüfung und Containerprüfung' points to the table. The right pane shows a 3D model of a tunnel with 23 light fixtures.

Verlinkungen mit Modell	Dokumenten Name
23	\\Bestandsunterlagen\Kabelverlegungspläne\BRA-0300-0048_Verkabelungsplan Durchfahrtsbeleuchtung V1.2.pdf"
23	\\Bestandsunterlagen\Beschreibung der Funktion der Gesamtanlage und aller Teilanlagen\BRA-0300-0268_Durchfahrtsbeleuchtung Kurzbesch"
25	\\Bestandsunterlagen\Datenspunktliste fuer Ueberwachung, Steuerung, Regelung\BRA_0401_010_0_SV_Datenspunktliste.pdf"
25	\\Bestandsunterlagen\Aufstellungspläne\BRA-0004-0018_Uebersicht Tunnelbausicherheit.pdf"
23	\\Bestandsunterlagen\Montagepläne\BRA-0300-0278_Montagedetail Beleuchtung.pdf"
25	\\Bestandsunterlagen\Erläuterung der Stoermeldungen\BRA-0000-003C_Uebersicht Tunnelbausicherheit.pdf"
25	\\Bestandsunterlagen\Datenspunktliste fuer Ueberwachung, Steuerung, Regelung, Meldung\BRA_0405_024_Datenspunktliste.pdf"
1	\\Bauwerksverzeichnis.zip"
25	\\Produktdatenblatt\BRA-0300-0238_Datenspunktliste fuer Ueberwachung, Steuerung, Regelung, Meldung\BRA_0405_024_Datenspunktliste.pdf"
25	\\Bestandspläne\BUE-31-005-a1P.pdf"
25	\\Anlagenzeichnung\BRA-0000-010C_Anlagenzeichnung.pdf"
23	\\Bestandsunterlagen\Widerschriften der Pruefergebnisse\BRA-0000-003C_Uebersicht Tunnelbausicherheit.pdf"
25	\\Bestandsunterlagen\Aufstellungspläne\BRA-0000-003C_Uebersicht Tunnelbausicherheit.pdf"
23	\\Bestandsunterlagen\Beschreibung der Funktion der Gesamtanlage und aller Teilanlagen\BRA-0300-0268_Durchfahrtsbeleuchtung Kurzbesch"
1	\\Bauwerksakte.zip"
25	\\Bestandsunterlagen\Erläuterung der Stoermeldungen\BRA-0000-003C_Uebersicht Tunnelbausicherheit.pdf"
23	\\Bestandsunterlagen\Kabelverlegungspläne\BRA-0300-0238_Datenspunktliste fuer Ueberwachung, Steuerung, Regelung, Meldung\BRA_0405_024_Datenspunktliste.pdf"
1	\\Bauwerksbuch.zip"

Bild 8-6: Ergebnis der Abfrage zur Zählung der Verlinkungen eines spezifischen Dokuments als Auflistung im ICDD Inspektor

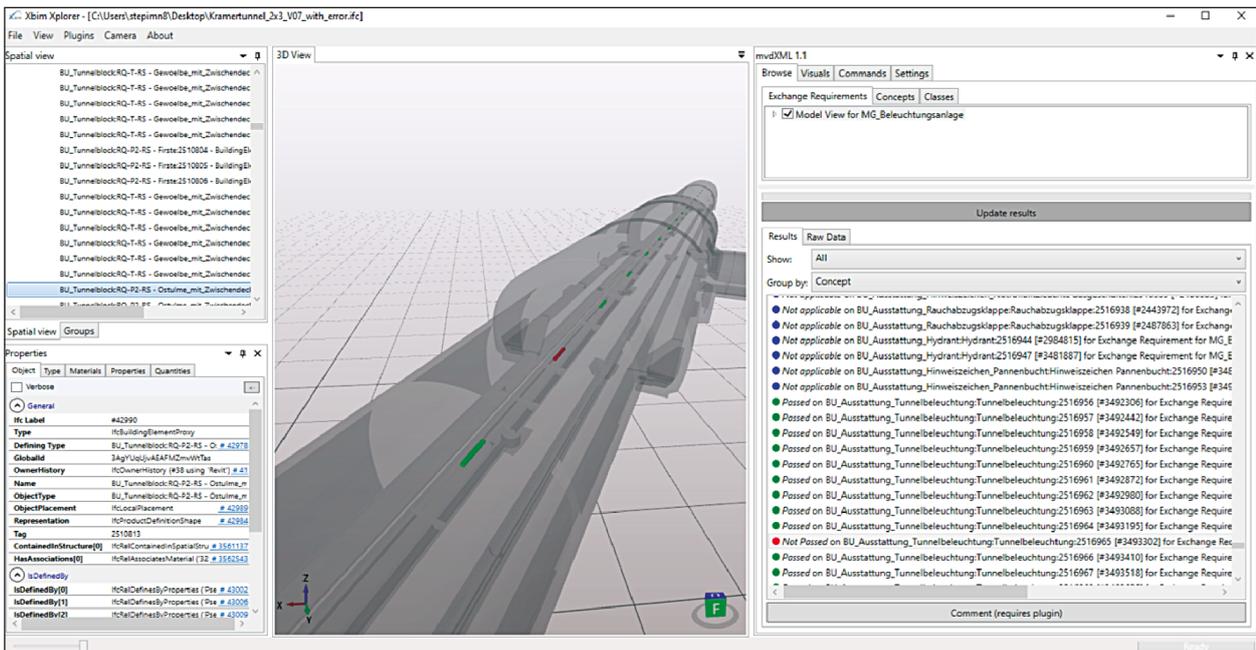


Bild 8-7: Ergebnisse der Prüfung auf Vollständigkeit der Merkmalsgruppe Beleuchtungsanlage im Xbim-Xplorer [95], welche für Tunnelleuchten erfolgreich abgeschlossen wurde und einen Fehler erkannt hat

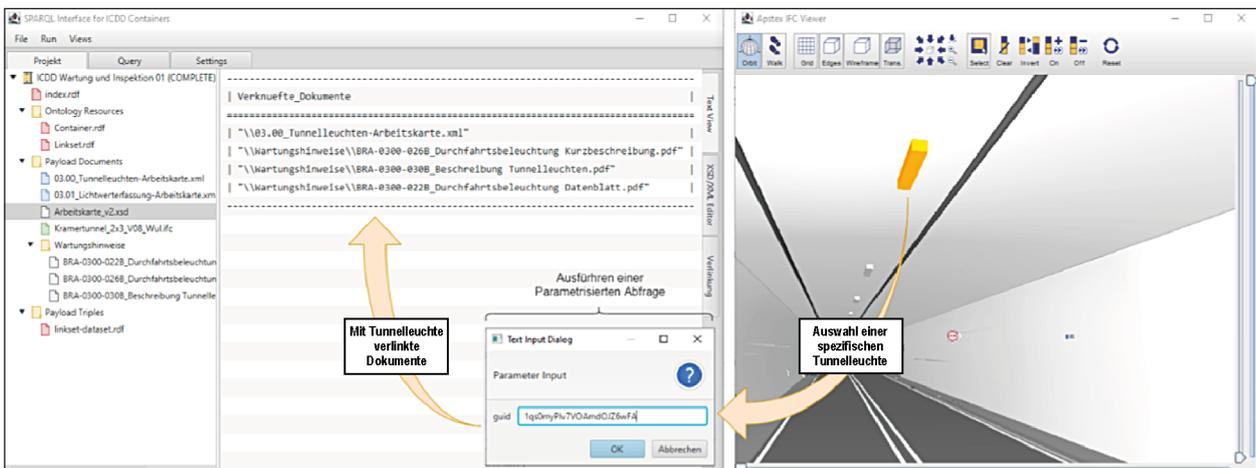


Bild 8-8: Ermittlung verfügbarer Unterlagen durch Abfrage von verlinkten Dokumenten mit dem IFC-Objekt

8.4.2 Abfrage relevanter Dokumente für Wartung und Inspektion

Zur Durchführung des BIM-basierten Wartungs- und Inspektionsprozesses ist die Vollständigkeit der Unterlagen bzw. die konsistente Verknüpfung mit Modellobjekten eine wesentliche Anforderung (ganzheitliche Prüfung der Unterlagen, siehe Kapitel 8.4.1). Die containerbasierte Arbeitsweise ermöglicht dabei, die vollständige und korrekte Zuordnung unter anderem mit Bezug auf zu liefernde Informationsinhalte (bspw. gemäß den LOINs) zu prüfen.

Nachfolgend wird anhand eines Fallbeispiels für die Beleuchtungsanlage der Ablauf einer Prüfung der

Dokumente für die Wartung und Inspektion beschrieben. Im Zuge des Bereitstellungsverfahrens für den BIM-basierten Prozess gemäß Kapitel 5.2.2 sind vom Auftraggeber die in den LOIN (siehe Anhang 2) spezifizierten Inhalte bereitzustellen. Auf Basis der Untersuchung der funktionalen Teile (siehe Anhang 3) setzt sich die Beleuchtungsanlage unter anderem aus Tunnelleuchten und Leuchtdichtkameras zusammen. Demnach sind diese Inhalte im Zuge des Informationsaustausches vollständig und mit korrekter Verlinkung zum Modell zu liefern. Durch eine entsprechende Abfrage von allen verknüpften Dokumenten individueller Objekte können fehlende Dokumente und Verlinkungen identifiziert

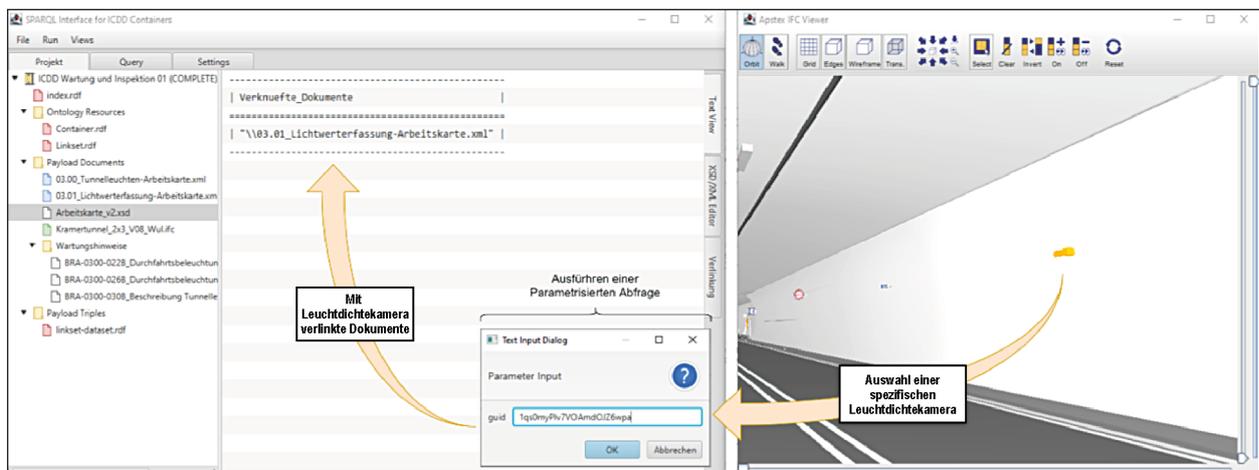


Bild 8-9: Feststellung fehlender Unterlagen durch Abfrage von verlinkten Dokumenten mit dem IFC-Objekt

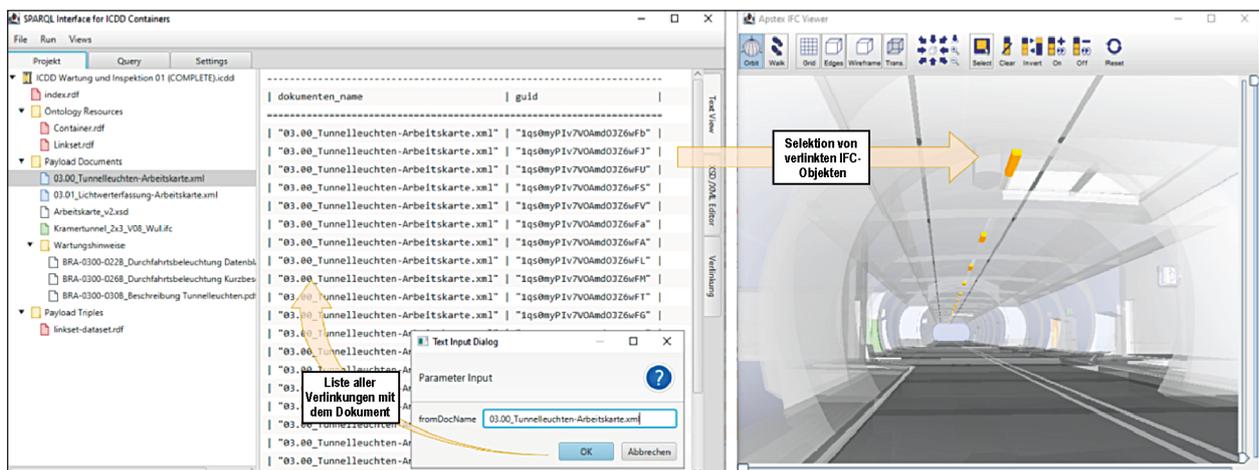


Bild 8-10: Selektion aller zu betrachtenden IFC-Objekte auf Basis ihrer Verlinkung

werden. Die prinzipielle Vorgehensweise ist in Kapitel 7.2.2 beschrieben.

Bild 8-8 zeigt die Verknüpfung der Tunnelleuchten mit entsprechenden (digitalen) Arbeitskarten und relevanten Wartungshinweisen bzw. die entsprechenden Containerinhalte (links).

Dieselbe Abfrage ergibt für die Leuchtdichtkamera-Objekte, dass keine Wartungshinweise hinzugefügt wurden. Unter Annahme, dass die Lieferung dieser innerhalb des Bereitstellungsverfahrens gefordert wird, ist der Container somit unvollständig. Somit konnte ein Verlust von Informationen identifiziert werden.

8.4.3 Filterung einzelner Modellobjekte

Neben der Prüfung des Modells ist auch eine gezielte Filterung hinsichtlich bestimmter Anforderun-

gen bzw. spezifischer Eigenschaften möglich. Im Gegensatz zur Prüfung, bei der bspw. Dokumente gesucht werden, die eine Verknüpfung mit einem bestimmten Objekt aufweisen, werden bei der Filterung entsprechende Objekte identifiziert, die mit bestimmten Dokumenten verknüpft sind.

Die Selektion einzelner Objekte erfolgt innerhalb des Prototypens mit der Ausgabe der GUIDs automatisch, d. h. die Funktion kann somit zur direkten Weiterverarbeitung in BIM-basierten Prozessen genutzt werden. In Bild 8-10 werden beispielhaft alle Objekte (hier Tunnelleuchten) gefiltert, die innerhalb des ICDD-Containers mit einer entsprechenden Tunnelleuchten-Arbeitskarte verknüpft sind.

Sowohl die Prüfung in Kapitel 8.4.2 als auch die Filterung wurden anhand der verknüpften Dokumente bzw. Unterlagen beschrieben. Darüber hinaus können auch Informationen, die direkt mit dem Modell

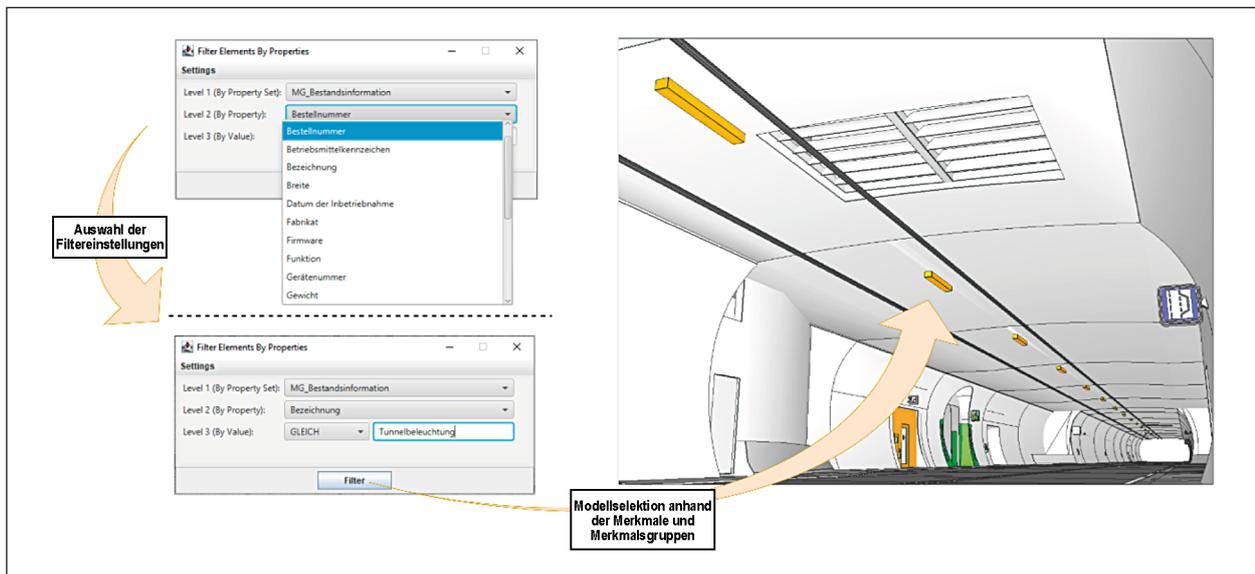


Bild 8-11: Selektion der betriebstechnischen Ausstattung am Beispiel Tunnelbeleuchtung auf Basis einer Filterung von Merkmalen und Merkmalsgruppen im Modell

als Merkmale und Merkmalsgruppen verknüpft sind, gefiltert und geprüft werden.

Bild 8-11 zeigt eine prototypisch implementierte Eingabemaske, mit der Suchkriterien basierend auf Merkmalen und Merkmalsgruppen definiert werden können. In diesem Beispiel werden auf Grundlage der Merkmalsgruppe MG_Bestandsinformationen alle Objekte gefiltert, die für das Merkmal Bezeichnung mit dem Wert Tunnelbeleuchtung zutreffen.

Grundsätzlich ist diese Stichproben-Filterung vergleichbar mit der Ausführung von MVDs (siehe auch Kapitel 7.3), welche prinzipiell dieselbe Filterung wie eine Abfrage von mehreren Merkmalen durchführen.

8.4.4 Erstellung und Bearbeitung von digitalen Arbeitskarten

Die digitale Bearbeitung von Unterlagen ist ein zentrales Element der BIM-basierten Arbeitsweise und kann prinzipiell zu einer Optimierung des Wartungs- und Inspektionsprozesses führen, da unter anderem doppelte Tätigkeiten, wie das nachträgliche Eintragen von Ergebnissen in digitale Programme, entfallen kann (siehe auch Kapitel 3.2.2).

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden Arbeitskarten aus der Praxis (hier Branichtunnel) in ein digitales Schema überführt (siehe Kapitel 5.2.2), welches nachfolgend zur Validierung der Anwendung digitaler Formulare angewendet wird. Auf

Grundlage einer digitalen Dokumentenverwaltung mittels entsprechenden Frameworks (siehe Kapitel 7.1) kann die Bearbeitung digitaler Unterlagen gesteuert werden. Bild 8-12 zeigt diesbezüglich eine entsprechende Formularansicht, die in der Anwendung ICDD-Inspektor (siehe Kapitel 7.2) eingebunden werden kann und eine Bearbeitung der Arbeitskarten ermöglicht.

Durch die maschinelle Erzeugung der Dokumente ist ein (teil-)automatisiertes Ausfüllen anhand der zuvor angewendeten Prüfungs- bzw. Filterungsergebnisse umsetzbar. Diesbezüglich kann bspw. die Auflistung der Gegenstände per Knopfdruck den Arbeitskarten hinzugefügt werden. Eine weitere Möglichkeit ist das Auslesen von verantwortlichem Personal (bspw. bei einer Plattform für ein Ticket-system).

In welchem Umfang die Übertragung der Information von Modell zu digitalem Dokument genau erfolgt, ist vom investierten Implementierungsaufwand abhängig. Hierfür müssen in der Regel entsprechende Routinen geschrieben werden, die es ermöglichen, eindeutig zu spezifizieren, wo und wie die Informationen im Modell zu suchen sind und wo diese im digitalen Dokument zu hinterlegen sind (Verknüpfungen). Diese Routinen sind für jedes digitale Dokument individuell zu erstellen, damit die Dokumentenstruktur berücksichtigt wird. Aufgrund des erhöhten Implementierungsaufwandes wurde dies im Rahmen des Projekts nicht weiterverfolgt, bietet jedoch Potenzial für weitere Betrachtungen.

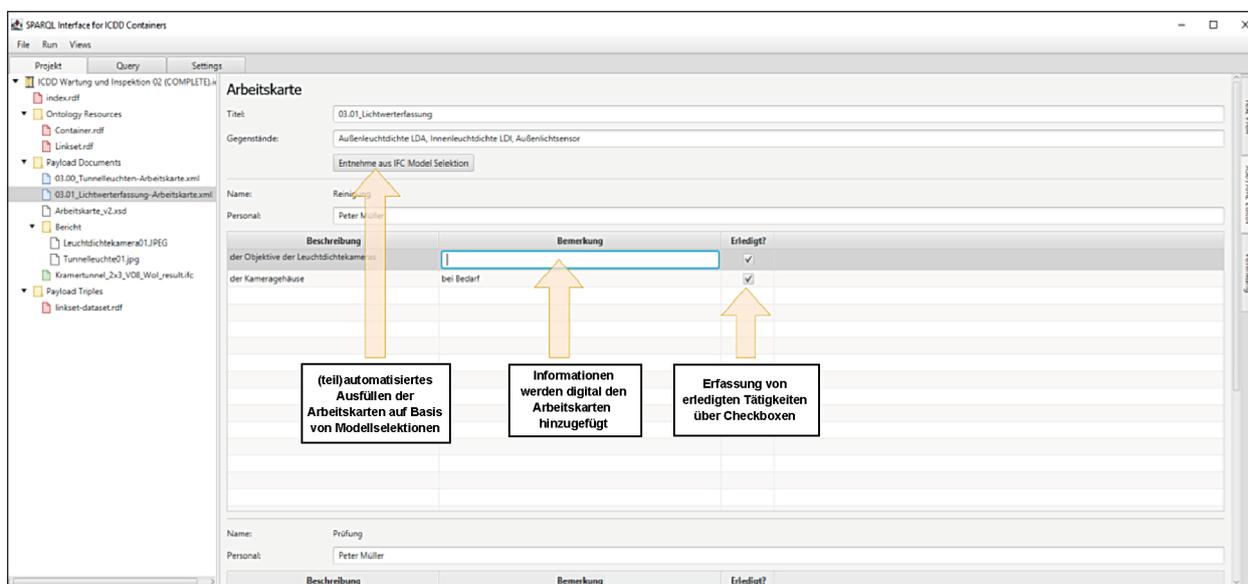


Bild 8-12: Formularansicht der Arbeitskarten, eingebunden in den ICDD Inspektor zur Bearbeitung der Arbeitskarten bei Selektion in der Projektsicht

Unabhängig vom (teil-)automatisiertem Ausfüllen, können Informationen auch manuell in die digitalen Arbeitskarten eingetragen werden. Das Ausfüllen von Bemerkungen sowie das Abhaken von Tätigkeiten über die Checkboxes stellen auf digitaler Grundlage äquivalente Prozesse zur analogen Arbeitsweise mit Arbeitskarten dar.

9 Fazit und Ausblick

9.1 Zusammenfassung und Fazit

Zielstellung des Forschungsprojekts war die Untersuchung und Erarbeitung von modelltheoretischen Grundlagen für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement. Dafür wurden neben einer Grundlagenanalyse hinsichtlich der bisherigen Anwendung von BIM – mit Fokus auf den Ingenieurbau – auch die Anforderungen resultierend aus organisatorischen, betrieblichen und regulativen Randbedingungen ermittelt. Hieraus konnten sowohl die für ein (BIM)Betriebsmodell erforderlichen Inhalte als auch praxisrelevante Anwendungsfälle für die modellbasierte Arbeit identifiziert werden.

Darauf aufbauend wurden Informationsanforderungen für die Datenübergabe (Handover) und einzelne Betriebsprozesse (Wartung und Inspektion, Störungsbeseitigung, Bauwerksprüfung) in Form eines Information Delivery Manuals definiert und in ein IFC-basiertes Datenmodell überführt. Insgesamt

können aus diesen Entwicklungsschritten folgende, zentrale Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

Semantische Datenerfassung und Datenhaltung

Ein signifikanter Aspekt der BIM-basierten Arbeitsweise, ist die digitale Erfassung semantischer Informationen insbesondere mit Blick auf die Betriebs- und Erhaltungsprozesse von Straßentunneln. Im Rahmen des Projekts wurde hierzu u. a. die direkte Verknüpfung von Informationen mit dem Modell in Form von Merkmalen und Merkmalsgruppen untersucht und entwickelt. Diesbezüglich wurden Bestandsinformationen sowie Informationen zu den untersuchten Betriebsprozessen in einen Katalog überführt (siehe Anhang 4). Diese Informationen sind im Rahmen der entsprechenden Austauschpunkte (siehe LOINs in Anhang 2) mit dem Modell zu liefern, beziehen sich jedoch verstärkt auf organisatorische bzw. administrative Aspekte. Grundsätzlich bildet der Katalog eine erste Grundlage auf Basis der im Projekt ermittelten Anforderungen. Eine weitere Anpassung, insbesondere durch das Feedback aus zukünftigen Praxiserfahrungen, wird empfohlen.

Ergebnisorientierte Informationen werden in den betrachteten, konventionellen Prozessen in der Regel über protokollähnliche Dokumente erfasst (bspw. Arbeitskarten bei der Wartung und Inspektion). Hinsichtlich einer BIM-basierten Arbeitsweise

wurde ein Ansatz entwickelt, der über das xsd-Schema eine maschinenbasierte Auswertung dieser Dokumente ermöglicht. Darüber hinaus wurden auch Tools entwickelt, die eine anwenderorientierte Nutzung dieser Funktionalität ermöglichen. Es zeigte sich auch beim Demonstrator-Einsatz, dass durch die Anwendung solcher digitaler Arbeitskarten der Prozess als solcher zukünftig optimiert werden kann. Ein wesentlicher Vorteil ist zudem, dass eine optionale Anpassung von Arbeitskarten durch das vorgegebene Schema individuell und objektspezifisch möglich ist.

Zwecks Datenhaltung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes der containerbasierte ICDD-Ansatz verwendet. ICDD-Container besitzen eine festgelegte Ordnerstruktur und ermöglichen dadurch einen geregelten, verlustfreien Datenaustausch. Darüber hinaus werden im Rahmen des Ansatzes Strukturen und Randbedingungen für semantische Verknüpfungen zwischen dem Modell und einzelnen Dokumenten festgelegt. Hierzu wurde sog. RDF-Graphen erstellt, welche die semantische Beziehung zwischen einzelnen Dokumenten und Modellobjekten erstellen.

Entwicklung eines Modellstandards auf IFC-Basis

Das in Kapitel 6 entwickelte Datenmodell, basierend auf dem IFC-Standard, wurde spezifisch für die Anforderungen deutscher Straßentunnel entwickelt. Dies betrifft insbesondere die Anforderungen gemäß ASB-ING bzw. dem OKSTRA-Standard, welche sowohl über IFCPropertySet's als auch hinsichtlich der Klassenstruktur berücksichtigt wurden. Somit wurde ein generischer Modellansatz entwickelt, der auch in der Lage ist, spezifische Anforderungen deutscher Straßentunnel mit abzubilden. Darüber hinaus konnten internationale Entwicklungen – bspw. IFC Tunnel – ansatzweise berücksichtigt werden.

Ziel sollte es hier sein, zukünftig diese Erkenntnisse sowohl im Rahmen der nationalen (bspw. DAUB-Empfehlungen) als auch internationalen Standardisierung einzubringen und damit frühzeitig eine Weichenstellung in Richtung der Standardisierung für die Tunnelbetriebsphase voranzutreiben.

Zwecks Veranschaulichung der erarbeiteten Anwendungsfälle, aber auch zur Validierung, wurden die erarbeiteten BIM-basierten Prozesse am Demonstrator umgesetzt. Folgende Erkenntnisse las-

sen sich aus der Umsetzung am Demonstrator ableiten:

Erweiterungspotenziale für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement

Die Anwendung von Modellprüfungen und Filterungen erfolgte im Rahmen der Demonstration teilautomatisiert und erforderte mehrere Einzelschritte. Insbesondere im Hinblick auf eine praxisorientierte Methode ist es empfehlenswert, diese Prozesse zukünftig weiter zu automatisieren und vor allem im Zuge der Übergabe von Informationen (siehe Hand-over), eine ganzheitlichere Betrachtung unter Berücksichtigung der definierten LOINs zu einzubinden.

In diesem Kontext ist zukünftig auch die Weiterentwicklung von Plattformen notwendig, mit der sowohl der Austausch als auch die Validierung der Informationen für den Betreiber zukünftig einfach durchführbar ist. Ansätze wie die containerbasierte Arbeitsweise mit ICDD sowie die Anwendung von RDF-Graphen bilden hierfür die Grundlage, stellen jedoch allein keine entsprechende CDE (Common Data Environment) dar und sind diesbezüglich zukünftig in solche zu implementieren.

Nutzung von Abfragen mit Regelsprache

In Kapitel 8.3 wurden betriebs- bzw. erhaltungsrelevante Abfragen formuliert, um automatisiert Informationen aus dem Modell bzw. dem übermittelten Container zu erhalten. Diese Abfragen wurden beispielhaft angewendet. Grundsätzlich wird für die praxistaugliche Implementierung von Abfragen (hier basierend auf der Abfragesprache SPARQL) sowohl eine Standardisierung für einheitliche Formen als auch eine Zertifizierung notwendig. Die hier dargestellten Abfragebeispiele geben dabei einen ersten Überblick bezüglich der Potenziale zur zukünftigen Unterstützung von Betriebspersonal. Somit kann per Knopfdruck bei richtiger Formulierung der Abfrage die benötigte Information aus dem Modell ausgelesen werden.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die BIM-basierte Arbeitsweise eine Optimierung von Betriebs- und Erhaltungsprozessen hervorrufen kann, wobei die hier erarbeiteten Ansätze einen ersten Ausgangspunkt bilden. Diese sind darüber hinaus Grundlage für weitere Potenziale wie bspw. die Anwendung von AR (Augmented Reality) und VR (Virtual Reality) sowie die Kopplung mit weite-

ren Tools zur Optimierung der Betriebsphase (u. a. LZK, Risikoanalyse).

9.2 Ausblick und Empfehlungen für weitere Ansätze

Die Arbeiten im Projekt haben einerseits das große Potenzial für eine Optimierung der Betriebsphase von Straßentunneln unter Nutzung eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements aufgezeigt. Andererseits konnten aber auch implizit die weiteren Schritte erkannt werden, die für eine flächendeckende Umsetzung eines solchen Ansatzes notwendig sind. Im Folgenden sollen daher drei Themen hierzu beispielhaft aufgegriffen und kurz skizziert werden. Diese bilden somit einen partiellen Ausblick auf weitere – aus Sicht des Konsortiums – notwendige Entwicklungsschritte, um eine flächendeckende Einführung und Umsetzung stringent ermöglichen zu können.

Integration des Bauwerksbestandes

Die im Zuge des Projekts entwickelten Modelle sind primär mit Blick auf eine Übergabe eines Bauwerks aus der Planungs- und Bauphase in die Betriebsphase hin konzipiert worden. Die entwickelten Anwendungsfälle und die sich hieraus ergebenden Prozesse sind dabei zwar grundsätzlich universell – also theoretisch sowohl für Bestandsbauwerke wie auch für Neubauten anwendbar – jedoch ist die Grundvoraussetzung häufig auch im Vorhandensein eines geometrischen Modells des Bauwerks in der informatorischen Umgebung angesiedelt. Für weite Teile des Bauwerksbestandes in der Baulast des Bundes gilt, dass derartige Modelle (noch) nicht vorhanden sind. Für diese Tunnel wäre aus Sicht des Konsortiums künftig strategisch zu klären, wie

- a) entsprechende Modelle angefertigt und mit dem BIM-gestützten Betriebs- und Erhaltungsmanagement gekoppelt werden können
- b) und ob es bei diesen Bauwerken gegebenenfalls möglich ist, mit kondensierten Modellen bereits frühzeitig und vor der Umsetzung einer großangelegten geometrischen Aufnahme des Bauwerks eine Implementierung realisieren zu können,
- c) eine Strategie zur Überführung des Bauwerksbestandes in ein bundesweit agierendes BIM-gestütztes Betriebs- und Erhaltungsmanage-

ment aussehen soll (bspw. das „ob“ und das „wann“) und

- d) welche gegebenenfalls zusätzlichen BIM-Prozesse hierfür notwendig sind und/oder unter Umständen noch entwickelt werden müssen.

Hierzu sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten angezeigt.

Sicherstellung der Datenverfügbarkeit und Datensicherheit

Im Hinblick auf das folgerichtige Entstehen großer Datenmengen, welche durch den Einsatz der hier entwickelten Modelle generiert und aufgezeichnet werden, sind zum einen Fragen zur Datensicherheit und zum anderen zu deren Verfügbarkeit zu beantworten. Beispielsweise ist zu erwarten, dass sich die IFC-Standards sukzessive weiter entwickeln werden, was eine Sicherstellung der Kompatibilität bereits abgelegter Daten und deren Formate mit den neuen Daten erfordert. Hierzu werden weiterer Entwicklungsbedarf und eine strategische Zielstellung als notwendig angesehen. Des Weiteren muss sichergestellt sein, dass bei wachsendem Bauwerksbestand die entstehenden Datenmengen mit der notwendigen Sicherheit und Redundanz abgelegt und verwaltet werden können. Dies betrifft Fragstellung der IT-Sicherheit wie auch des Handlings und die Speicherung großer Datenmengen.

Standardleistungsverzeichnisse

Eine Vereinheitlichung des Betriebs- und Erhaltungsmanagements wird unweigerlich auch die Entwicklung und Nutzung von vereinheitlichten Leistungsverzeichnissen erfordern. Diese sollten dann idealtypisch auch im Hinblick auf die Zurverfügungstellung der notwendigen Informationsgrundlagen für ein BIM-gestütztes Betriebs- und Erhaltungsmanagement angepasst sein. Beispielsweise werden über den Lebenszyklus des Bauwerks spezifische Informationen zu bestimmten Ausstattungsdetails erforderlich, um deren optimale Instandhaltung realisieren zu können. Standard-LVs sollten auch im Hinblick auf die Übergabe der Daten an den Betreiber hier sowohl den Umfang als auch das Format der Daten vorgeben, um eine Kompatibilität und Verwertbarkeit sicherzustellen.

Implementierung

Es wird im Sinne einer stringenten Implementierung eines BIM-gestützten Tunnelbetriebs empfohlen,

die aktuell erarbeiteten Grundlagen für das Betriebsmodell bzw. für die entsprechenden Anwendungsfälle (u. a. Merkmalsgruppen und Merkmale, LOINs, Substitutionstabellen) von Betreibern bzw. den weiteren Akteuren des Tunnelbetriebs zu validieren und entsprechend auszuarbeiten. Hierfür wird vorgeschlagen, einen Workshop durchzuführen, in dem die oben genannten Anlagen weiterentwickelt werden. Dabei ist insbesondere auch die Frage zu klären, wie u. a. mit den aktuellen Anforderungen an die Bestandsdokumentation (siehe ZTV-ING Teil 1, Abschnitt 2 [68] und ZTV-ING Teil 5 [69]) umzugehen ist. Als Beispiel ist hier zu nennen, ob das Modell zukünftig Planzeichnungen ersetzt oder diese ergänzend verlinkt werden.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Berlin; 2015.
- [2] BORRMANN, A.; KOCH, C.; BEETZ, J.; editors. Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2015.
- [3] Erweiterung des Standardformats IFC für den Datenaustausch zur digitalen Beschreibung von Tunnelbauwerken: http://ifcinfra.de/ifc_tunnel/, letzter Zugriff am 9.12.2019.
- [4] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.: Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – BIM im Untertagebau. DAUB-Arbeitskreis „BIM im Untertagebau“, 2019.
- [5] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA). Onlinedokumentation. Quelle: <https://www.okstra.de/>. Letzter Zugriff am 01.07.2021.
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung: Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten – ASB-ING. Abteilung Straßenbau, Sammlung Brücken- und Ingenieurbau. Berlin, 2013.
- [7] Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen: Vorschlag zur Übernahme des durch die FG ASB-Ing neu erarbeiteten Datenmodells. Version 1.1. 2019.
- [8] German Facility Management Association (GEFMA). Building Information Modeling im Facility Management: White Paper GEFMA 926; 2017.
- [9] <https://www.cafmconnect.org/>
- [10] <https://www.cafmconnect.org/bimprofile/>
- [11] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 277-2: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau – Teil 2: Gliederung der Netto-Grundfläche (Nutzfläche, Technische Funktionsflächen und Verkehrsflächen). Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [12] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 276: Kosten im Bauwesen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2018.
- [13] German Facility Management Association – GEFMA 198-1:2013-11: Dokumentation im Facility Management – Begriffsabgrenzung, Vorgehensweise, Gliederung und Instrumente. 2013.
- [14] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.: Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 1 – Objektdefinition, Codierung und Merkmale. Ergänzung zur DAUB-Empfehlung BIM im Untertagebau (2019). DAUB-Arbeitskreis „BIM im Untertagebau“, 2020.
- [15] Building Information Modeling – Deges. Quelle: <https://www.deges.de/buildinginformationmodelingbim/>, zuletzt abgerufen am 27.06.2021
- [16] JUBIERRE, J. R.: A multiscale product model for shield tunnels based on the Industry Foundation Classes. Technical Documentation. Technische Universität München, 2014.
- [17] AIA Contract Document G202-2013, Building Information Modeling Protocol Form, American Institute of Architects, Washington DC, 2013.
- [18] BIMforum – Level of Development Specification: <http://bimforum.org/wpcontent/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>, letzter Zugriff am 9.12.2019.
- [19] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN ISO 19650-1. Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2019.
- [20] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 17412 (Entwurf) Building Information Modeling – Level of Information Need – Concepts and principles. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2018.
- [21] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneue-

- rungsmaßnahmen bei Straßenbrücken RI-WI-BRÜ. Berlin, 2007.
- [22] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.: Empfehlungen für die Ermittlung von Lebenszykluskosten für Straßentunnel. DAUB-Arbeitsgruppe Lebenszykluskosten, 2018.
- [23] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 31051 Grundlagen der Instandhaltung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2019.
- [24] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV): Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h. Köln, 2019.
- [25] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen – Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln. Köln, 2006.
- [26] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen – Arbeitsgruppe Infrastrukturmanagement: Merkblatt für die Kontrolle, Wartung und Pflege von Straßentunneln. Köln, 2015.
- [27] BIM4INFRA: Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ – Teil 6: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Quelle: https://bim4infra.de/wpcontent/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf, zuletzt abgerufen am 26.06.2021.
- [28] BIM4INFRA: Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ – Teil 2: Leitfaden und Muster für Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA). Quelle: https://bim4infra.de/wpcontent/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil2.pdf, zuletzt abgerufen am 26.06.2021.
- [29] HIRSCHNER, J.; HAHR, H.; KLEINSCHROT, K.: Facility Management im Hochbau – Grundlagen für Studium und Praxis. 1. Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018.
- [30] German Facility Management Association – GEFMA 400:2021-03: Richtlinie zur allgemeinen Einführung ins Thema CAFM. 2021.
- [31] SINGER, D.; BORRMANN, A.: Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken. FE 89.0309 – Schlussbericht. Technische Universität München, 2016.
- [32] THEWES, M.; HOFFMANN, P.; VOLLMANN, G.; ADDEN, H.; WUTTIG, A.; RIEPE, W.: Verfahren für Kostenansätze bei Straßentunnel. FE 15.577/2012/ERB – Schlussbericht. Unveröffentlicht. Ruhr-Universität Bochum, 2018.
- [33] BIM-producten en standaarden: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werkenaaninfrastructuur/efficienterwerken/bouwwerkinformatiemodel/productenenstandaarden.aspx>, letzter Zugriff am 10.12.2019.
- [34] VOSSEBELD, N.: Guarding Safety Of Road Tunnels – Information Model for Rijkswaterstaat. Dissertation. Universiteit Twente, 2015.
- [35] VOSSEBELD, N.; HARTMANN, T.: Modelling Information for Maintenance and Safety along the Lifecycle for Road Tunnels. In : Journal of Computing in Civil Engineering, Volume 30, Issue 5, <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000593>, letzter Zugriff am 13.12.2019.
- [36] SAMI, H.; DOUKARI, O.; ZIV, N.: Development of a BIM Model adapted for the comaintenance of Tunnels. Conference Paper for the 1st International BIM Conference, Glasgow, 2016.
- [37] CHEN, L.; LU, S.; ZHAO, Q.: Research on BIM-based highway tunnel design, construction and maintenance management platform. Conference Paper for the International Conference on Civil, Architecture and Disaster Prevention 2018, Hefei, China.
- [38] Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. November 2019 (BGBl. I S. 1546) geändert worden ist.
- [39] Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 29. Juni 2020 (BGBl. I S. 1528) geändert worden ist.
- [40] Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl.

- I S. 42, 2909; 2003 I S.738), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juni 2020 (BGBl. I S. 1245) geändert worden ist
- [41] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Reform der Bundesfernstraßenverwaltung. Quelle: <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Strasse/Reform-Der-Bundesfernstrassenverwaltung/reformder-bundesfernstrassenverwaltung.html>, abgerufen am 30. Juli 2020.
- [42] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinien für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken. RPE-ING. Bonn, 2020.
- [43] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr: Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen. Version 1.1. Bonn, 2004.
- [44] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 1076 Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- [45] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 – RI-EBW-PRÜF. Berlin, 2017.
- [46] HAARDT, P.: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufe 1 und 2. Schlussbericht zu AP-Projekt 99 245, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2002.
- [47] Bundesanstalt für Straßenwesen: Richtlinie für Bergwasserdränagesysteme von Strassentunneln. Bergisch Gladbach, 2007.
- [48] Europäisches Parlament und der Rat: Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz.
- [49] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Das Ministerium stellt sich vor. Quelle: <https://www.bmvi.de/DE/Ministerium/Aufgaben-Struktur/aufgabenstruktur.html>, abgerufen am 31. Juli 2020.
- [50] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Organisationsplan des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Quelle: https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/Z/organigramm.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 31. Juli 2020.
- [51] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten. Berlin, 2019.
- [52] LIPPOLD, C. (Hrsg.): Der Elsner. Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen. Otto Elsner Verlagsgesellschaft. Dieburg, 2018.
- [53] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Straßenbau. Quelle: <https://vm.badenwuerttemberg.de/de/mobilitaetverkehr/strasse/planungbauerhaltungsanierung/bau/>, zuletzt abgerufen am 31. Juli 2020.
- [54] Bayerisches Straßen- und Wegegesetz (BayStrWG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Oktober 1981. (BayRS V S. 731)
- [55] Landesbetrieb Straßen.NRW: Regionen & Niederlassungen von Straßen.NRW, abgerufen am 31. Juli 2020.
- [56] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Organisation, Kosten. Berlin, 2013.
- [57] Europäisches Parlament und der Rat: Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission.
- [58] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten RI-ERH-ING – Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse OSA.
- [59] Honorarordnung für Architekten und Ingenieure vom 10. Juli 2013 (BGBl. I S. 2276)
- [60] Fernstraßen-Überleitungsgesetz vom 14. August 2017 (BGBl. I S. 3122, 3144), das durch Artikel 324 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

- [61] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen. Bonn, 1995.
- [62] Technische Regeln für Arbeitsstätten. ASR A5.2: Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen. 2018.
- [63] Baustellenverordnung vom 10. Juni 1998 (BGBl. I S. 1283), die zuletzt durch Artikel 27 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist.
- [64] Betriebssicherheitsverordnung vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. April 2019 (BGBl. I S. 554) geändert worden ist.
- [65] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen. 2011.
- [66] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Ereignismanagement für Straßentunnel – Empfehlungen für Betriebs- und Einsatzdienste. Bonn, 2015.
- [67] Bundesanstalt für Straßenwesen: Sicherheit geht vor – Straßentunnel in Deutschland. Informationen für Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer. Quelle: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Publikationen/Medien/Dokumente/B-brotunnelsicherheit.html?nn=1828226, abgerufen am 05.08.2020.
- [68] Bundesanstalt für Straßenwesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-Ing – Teil 1: Allgemeines. Bergisch Gladbach, 2013.
- [69] Bundesanstalt für Straßenwesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-Ing – Teil 5: Tunnelbau. Bergisch Gladbach, 2018.
- [70] ASB-ING neu, noch nicht veröffentlicht.
- [71] Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen – VOB Teil C, 2019.
- [72] BALDWIN, M.: Der BIM-Manager. Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2019.
- [73] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinie für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken – RPE-ING. Bonn, 2020.
- [74] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN ISO 29481-1 Bauwerksinformationsmodelle – Handbuch der Informationslieferungen. Teil 1: Methodik und Format. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2018.
- [75] International Organization for Standardization: ISO 21597-1 Information container for linked document delivery – Exchange specification. Part 1: Container.
- [76] BIM4INFRA: Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ – Teil 1: Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Quelle: https://bim4infra.de/wpcontent/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil1.pdf, abgerufen am 02.02.2021.
- [77] Nicht veröffentlichtes Dokument: Verfahrensablauf bei einer Störungsbeseitigung. Autobahndirektion Nordbayern.
- [78] apstex IFC Framework: <http://www.apstex.com/>, letzter Zugriff am 09.02.2021.
- [79] Verfahren für Kostenansätze bei Straßentunnel. FE 15.577/2012/ERB – Schlussbericht. Unveröffentlicht. Ruhr-Universität Bochum, 2018.
- [80] https://bim4infra.de/wpcontent/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil7.pdf
- [81] buildingSMART IFC-Tunnel Project – WP2 Requirement analysis report (RAR): <https://www.buildingsmart.org/thefinaldraftoftheifctunnelrequirementsanalysisreportisnowavailable/>, letzter Zugriff am 02.02.2021.
- [82] Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen – Änderungsantrag 142 – Übernahme des durch die FG ASB-Ing neu erarbeiteten Datenmodells: <https://www.okstra.de/>, letzter Zugriff am 28.02.2021.
- [83] Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen – N 184 – Vorschlag zur Übernahme des durch die FG ASB-Ing neu erarbeiteten Datenmodells: <https://www.okstra.de/>, letzter Zugriff am 28.02.2021.
- [84] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: ISO 10303-21 Industrielle Automatisierungs-

- systeme und Integration – Produktdatendarstellung und -austausch – Teil 21: Implementierungsmethoden: Klartext-Kodierung der Austauschstruktur. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2016.
- [85] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: ISO 10303-28 Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Produktdatendarstellung und -austausch – Teil 28: Implementierungsmethoden: XML Darstellungen von EXPRESS Schemata und Daten unter Verwendung von XML Schemata. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [86] WEISE, M.; SCHMIDT, I.; HETTWER, J.: OKSTRA, IFC und BIM – Neue Wege im Umgang mit Straßeninfrastrukturdaten. 7. OKSTRA-Symposium 2018, Köln. Quelle: https://www.roadotl.eu/static/media/OKSTRA-FGSV_2018_Symposium_2018-05_INTERLINK.pdf, letzter Zugriff am: 01.07.2021.
- [87] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: ISO 23387 Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Datenvorlagen für Bauobjekte während des Lebenszyklus eines baulichen Vermögensgegenstandes – Konzepte und Grundsätze. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2020.
- [88] BIMSTRUCT: Strukturierte Daten für die digitale Zusammenarbeit im Infrastrukturbau. Quelle: <https://bimstruct.blogs.ruhruni-bochum.de/>. Abgerufen am 06.08.2020.
- [89] BIM4INFRA: Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ – AP 5: Konzept für Datenbanken. Quelle: https://bim4infra.de/wpcontent/uploads/2018/08/BIM4INFRA2020_AP5_Datenbankkonzept_FINAL.pdf, abgerufen am 06.08.2020.
- [90] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN ISO 23386 (Entwurf). Bauwerksinformationsmodellierung und andere digitale Prozesse im Bauwesen – Methodik zur Beschreibung, Erstellung und Pflege von Merkmalen in miteinander verbundenen Datenkatalogen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2019.
- [91] mvdXML – buildingSMART. Quelle: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvdxml/>, abgerufen am 27.06.2021
- [92] Model View Definition und BIM-Datenaustausch – BibLus. Quelle: <https://biblus.acca-software.com/de/modelviewdefinitionundbimdatenaustausch/>, abgerufen am 27.06.2021.
- [93] Projektinformationen Kramertunnel. Quelle: <https://kramertunnel.de/>, letzter Zugriff am 05.07.2021.
- [94] SPARQL 1.1 Query Language – W3C. Quelle: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>, abgerufen am 27.06.2021.
- [95] Xbim Explorer – xbim toolkit. Quelle: <https://docs.xbim.net/downloads/xbimexplorer.html>, abgerufen am 27.06.2021.
- [96] BMDV: Masterplan BIM Bundesfernstraßen: Rahmendokument: Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) – Version 1.0, Quelle: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bimrdaia.pdf?__blob=publicationFile; abgerufen am 10.03.2022

Bilder

- Bild 2-1: BIM-Referenzprozess entlang der HOIA-Leistungsphasen [2]
- Bild 2-2: Unterscheidung little, big, open und closed BIM [2]
- Bild 2-3: 3D-Darstellung der verschiedenen LoDs des mehrskaligen Tunnelproduktmodells [16]
- Bild 2-4: Kosten, Phasen, Prozesse in der Lebenszyklusbetrachtung von Tunnelbauwerken [22]
- Bild 2-5: Kosten, Phasen, Prozesse in der Lebenszyklusbetrachtung von Tunnelausstattung [22]
- Bild 2-6: Anwendungsfälle für den Infrastrukturbau [27]
- Bild 2-7: Steckbrief des Anwendungsfalls Bestandserfassung [28]
- Bild 2-8: Fach- und Teilmodelle im Rahmen der Havellandautobahn (Quelle: IB&T Software GmbH)
- Bild 2-9: Klassifizierung von FM-Daten gemäß GEFMA-Richtlinie 400 [30]
- Bild 2-10: LoD Betrieb des BAST-Attributkatalogs für Bauteile [31]

- Bild 2-11: Schemenhafte Darstellung der semantischen Anreicherung bei einem Bauwerk [31]
- Bild 2-12: Ontologie für Instandhaltungskonzepte nach Prinzipien eines UML-Diagrammes [35]
- Bild 2-13: Interaktionsdiagramm eines BIM-Modells [36]
- Bild 3-1: Übersicht der organisatorischen Vorgaben, die sich maßgeblich aus administrativen, betrieblichen und regulativen Randbedingungen zusammensetzen
- Bild 3-2: Darstellung der Begriffssystematik der Bauwerkserhaltung gemäß RPE-ING [42]
- Bild 3-3: Dreigliedrige Hierarchiestruktur der Straßenbauverwaltung in Baden-Württemberg [53]
- Bild 3-4: Organisationsstruktur zur Gewährleistung der Sicherheitsanforderungen mit Abbildung beispielhafter Schnittstellen gemäß RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24]
- Bild 3-5: Modularer Aufbau des Bauwerks-Management-Systems zur Planung und Steuerung von Erhaltungsmaßnahmen [58]
- Bild 3-6: Aufgliederung der Maßnahmen zur Instandhaltung gemäß RABT 2006 [25] in Verbindung mit den EABT-80/100 [24]
- Bild 3-7: Schema zur Überwachung von Straßentunnel durch eine ständig besetzte Stelle [24]
- Bild 4-1: Schritte zur Identifizierung des Bedarfs von BIM [72]
- Bild 4-2: Lokalisation von Kabel und Rohre (a), sowie die Abfrage spezifischer Eigenschaften (b) anhand eines Demonstrators an der Ruhr-Universität Bochum
- Bild 5-1: Vereinfachtes Beispiel für die Anwendung eines IDMs [74]
- Bild 5-2: Beispielhafter Inhalt eines ICDD Wartungsauftrags
- Bild 5-3: Darstellung des LOIN-Rahmens (Entwurfsversion) aus DIN EN 17412 [75]
- Bild 5-4: Prozessdiagramm „pm_handover_bestandsunterlagen“ für die konventionelle Übergabe der Bestandsdokumentation
- Bild 5-5: Prozessdiagramm „pm_handover_betriebsmodell“ für das BIM-basierte Handover
- Bild 5-6: Vereinfachte Prozesslandkarte für „Wartung und Inspektion“
- Bild 5-7: Prozessdiagramm „pm_wartung_Intervall“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den IST-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.
- Bild 5-8: Prozessdiagramm „pm_wartung_ICDD“ für die Durchführung von BIM basierter Wartung und Instandhaltung, symbolisiert den SOLL-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.
- Bild 5-9: Strukturierung einer Arbeitskarte
- Bild 5-10: Visualisierung des XSD-Schemas für Arbeitskarten
- Bild 5-11: Vereinfachte Prozesslandkarte für „Störungsbeseitigung“
- Bild 5-12: Prozessdiagramm „pm_stoerungsbeseitigung_maßnahmeneinleitung“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den IST-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.
- Bild 5-13: Erstellung eines BCF-Tickets mit Apsetx IFC Framework (oben), erzeugtes Ticket (unten)
- Bild 5-14: Prozessdiagramm „pm_stoerungsbeseitigung_ticket“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den SOLL-Zustand.
- Bild 5-15: Vereinfachte Prozesslandkarte für „Bauwerksprüfung“
- Bild 5-16: Prozessdiagramm „pm_bauwerkspruefung_konventionell“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den IST-Zustand, abgeleitet aus den Vertragsunterlagen.

- Bild 5-17: Prozessdiagramm „pm_bauwerkspruefung_bim“ für die konventionelle Durchführung von Wartung und Instandhaltung. Symbolisiert den SOLL-Zustand
- Bild 5-18: Visualisierung des XSD-Schemas für das digitale Prüfprotokoll im Rahmen der Bauwerksprüfung
- Bild 5-19: Darstellung der Verknüpfung zwischen Arbeitskarten, einem BIM basierten Modell und Merkmalen/Merkmalgruppen
- Bild 6-1: Einordnung des Betriebsmodells nach der Strukturierung der Fachmodelle aus BIM4INFRA
- Bild 6-2: Technische Umsetzung des Beispiels [86]
- Bild 6-3: IFC-Historie der Erweiterungen anhand der abstrakten Strukturierung von Einrichtungen (links) und der Umfang der IFC-Tunnel Erweiterung nach der Angabe aus der veröffentlichten Anforderungsanalyse (rechts) [81]
- Bild 6-4: Informationsaustausch zwischen IFC und ASB-Ing über verknüpfte Merkmalsgruppen
- Bild 6-5: Zuordnung von IFC-Klassen an Funktionale Teile am Beispiel einer Lüftungsanlage
- Bild 6-6: Auszeichnung einer Lüftungsanlagen-Entität durch Merkmalsgruppen für den Tunnelbetrieb
- Bild 6-7: Konzept zur Implementation von Informationsanforderungen im Tunnelbetrieb
- Bild 6-8: Stark vereinfachte Darstellung der Kernkomponenten zu Merkmalsgruppen und Merkmale
- Bild 6-9: Katalog von Merkmalsgruppen für die Ausstattung und Strukturierung eines Tunnelbauwerks im Tunnelbetrieb
- Bild 6-10: Darstellung der Verlinkung in der Ontologie
- Bild 6-11: Exemplarischer Inhalt der ICDD im Soll-Prozess der Wartung und Inspektion
- Bild 6-12: Vorgehensweise zur Pflege von Merkmalsdatenbanken aus BIMSTRUCT [88]
- Bild 7-1: Benutzeroberfläche implementiert auf Basis von Arbeitskarten und Schema
- Bild 7-2: Modellabbildung
- Bild 7-3: Übersicht über Containerinhalten, Prüfwerkzeugen und damit benötigte Prüfungsunterlagen
- Bild 7-4: Tabellenbasierte Verwaltung von Verknüpfungen zur Container-Initialisierung
- Bild 7-5: Ausführung von Abfragen zur Verarbeitung und Prüfung der ICDD
- Bild 7-6: Apstex IFC Framework als Werkzeug zur Visualisierung und Interaktion von IFC Modellen
- Bild 7-7: Filterung von Tunnelleuchten anhand von verknüpften Merkmalen
- Bild 7-8: Zusammenhang zwischen Merkmalsgruppen, PSD und MVD
- Bild 7-9: Die MVD als eine gefilterte Ansicht, die einen Teil, oder alle Informationen des gesamten Schemas aufnimmt [92]
- Bild 7-10: Mockup eines Ticketsystems auf Basis von BCF-Informationen
- Bild 7-11: Bearbeitung einer Arbeitskarte direkt über die Webplattform und gesteuert durch das Ticketsystem
- Bild 8-1: Gesamtansicht des Demonstrator-Tunnelmodells
- Bild 8-2: Querschnitt des Demonstrator-Tunnelmodells (a) und eine Ansicht der technischen Ausstattung im Tunnelinnern (b)
- Bild 8-3: Inhalt des ICDD-Containers für den letzten Datenaustausch-Schritt im BIM-basierten Handoverprozess
- Bild 8-4: Inhalt der ICDD-Container für die Datenaustausch-Punkte im BIM-basierten Wartungs- und Inspektionsprozess
- Bild 8-5: Übersicht der Betrachteten Abfragen für eine Exemplarische Umsetzung üblicher Prüfprozessen
- Bild 8-6: Ergebnis der Abfrage zur Zählung der Verlinkungen eines spezifischen Dokuments als Auflistung im ICDD Inspektor

- Bild 8-7: Ergebnisse der Prüfung auf Vollständigkeit der Merkmalsgruppe Beleuchtungsanlage im Xbim-Xplorer [95], welche für Tunnelleuchten erfolgreich abgeschlossen wurde und einen Fehler erkannt hat
- Bild 8-8: Ermittlung verfügbarer Unterlagen durch Abfrage von verlinkten Dokumenten mit dem IFC-Objekt
- Bild 8-9: Feststellung fehlender Unterlagen durch Abfrage von verlinkten Dokumenten mit dem IFC-Objekt
- Bild 8-10: Selektion aller zu betrachtenden IFC-Objekte auf Basis ihrer Verlinkung
- Bild 8-11: Selektion der betriebstechnischen Ausstattung am Beispiel Tunnelbeleuchtung auf Basis einer Filterung von Merkmalen und Merkmalsgruppen im Modell
- Bild 8-12: Formularansicht der Arbeitskarten, eingebunden in den ICDD Inspektor zur Bearbeitung der Arbeitskarten bei Selektion in der Projektansicht
- Tab. 4-1: Praxisorientierte Ableitung von Anwendungsfällen für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement von Straßentunneln
- Tab. 5-1: Zusammenstellung der Informationen zwecks (Mängel- bzw.) Störungsbeseitigung
- Tab. 7-1: Übersicht der eingesetzten softwaretechnischen Komponenten
- Tab. 8-1: Detaillierte Auflistung der implementierten Abfragen, mit Beschreibung, sowie Ein- und Ausgaben

Tabellen

- Tab. 2-1: Definition der Anwendungsfälle für den Tunnel Spitzenberg auf der A44
- Tab. 2-2: Definition der Anwendungsfälle für den Tunnel Holstein auf der A44
- Tab. 3-1: Anforderungen an den Straßenbaulastträger gemäß Bundesfernstraßengesetz [39]
- Tab. 3-2: Übersicht der Organisation von Bauwerksprüfungen nach [56]
- Tab. 3-3: Übersicht einzelner strategischer Ziele unter Berücksichtigung von BIM, zusammengefasst aus den Experteninterviews
- Tab. 3-4: Angabe zum Umfang von Kontrolle, Wartung und Pflege an der Technischen Ausstattung (hier beispielhaft Beleuchtung, Lüftung und Lüftungssystem) gemäß M KWPT [26].
- Tab. 3-5: Übersicht der untersuchten Vorschriften und Empfehlungen

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2021

B 160: Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke – Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottenlager

Butz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 161: Lagerwege von Brücken

Butz, Mack, Krawtschuk, Maldonado

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 162: Druckgurtanschluss in Hohlkastenbrücken – Ingenieurmodelle zur wirklichkeitsnahen Ermittlung der Tragfähigkeit

Müller

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 163: Dauerüberwachung von Bestandsbrücken – Quantifizierung und Zuverlässigkeit und Nutzen

Hindersmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 164: Intelligente Bauwerke – Verfahren zur Auswertung, Verifizierung und Aufbereitung von Messdaten

Kleinert, Sawo

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 165: Reaktions- und Wiederherstellungsprozess für die Straßeninfrastruktur nach disruptiven Ereignissen

Deublein, Roth, Bruns, Zulauf

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 166: Verfahren und Modelle zur Quantifizierung der Verfügbarkeit und Sicherheit von Elementen der Straßeninfrastruktur bei außergewöhnlichen Ereignissen

Finger, Stolz, Fischer, Hasenstein, Rinder

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 167: Erfahrungssammlung zu Fahrbahnübergängen aus Polyurethan

Staeck, Eilers

€ 15,50

B 168: Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke Messtechnische Erfassung von Verkehrsdaten auf der Basis von instrumentierten Fahrbahnübergängen

Rill

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 169: Entwicklung von Bemessungshilfen für bestehende Stahlbetonkragarme auf Basis nichtlinearer Berechnungen

Neumann, Brauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 170: Feuerverzinken als dauerhafter Korrosionsschutz für Stahlverbundbrücken – Praxisbericht zum Pilotprojekt

Ansorge, Franz, Düren-Rost, Friedrich, Huckshold, Lebelt, Rademacher, Ungermann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 171: Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076 – Unterstützung durch (halb-) automatisierte Bildauswertung durch UAV (Unmanned Aerial Vehicles – Unbemannte Fluggeräte)

Morgenthal, Rodehorst, Hallermann, Debus, Benz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 172: Querkrafttragfähigkeit von Spannbetonbrücken – Erfassung von Spannungszuständen in Spannbetonversuchsträgern mit Ultraschallsensoren

Niederleithinger, Werner, Galindo, Casares, Bertschat, Mierschke, Wang, Wiggenhauser

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 173: Vermeidung chloridinduzierter Korrosion in Tunnelinnenschalen aus Stahlbeton

Rudolph, Orgass, Schneider, Lorenz, Reichel, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2022

B 174: Kunststoffabdichtungen unter Brückenbelägen

Dudenhöfer, Rückert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 175: Statische Vergleichsberechnung von gemauerten Gewölbebrücken zur Validierung des Entwurfs der neuen Nachrechnungsrichtlinie (Mauerwerk)

Purtak, Möbius

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 176: Erfahrungssammlung zu Fahrbahnübergängen aus Asphalt in geringen Abmessungen – Belagsdehnfugen

Staeck

€ 15,00

B 177: Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten

Freundt, Böning, Fischer, Lau

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 178: Intelligente Brücke – Reallabor Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn

Windmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 179: Erarbeitung eines vereinfachten Nachweisformats für die Erdbebenbemessung von Brückenbauwerken in Deutschland

Bauer, Gündel, Ries, Karius, Honerboom, Haug

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 180: Vorbereitung von Großversuchen an Stützkonstruktionen aus Gabionen – Einzelgabionen mit Steinfüllung

Schreck, Decker, Wawrzyniak

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 181: Querkraftbemessung von Brückenfahrbahnplatten

Maurer, Wentzek, Hegger, Adam, Rombach, Harter, Zilch, Tecusan

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 182: Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau

Seitner, Probst, Borrmann, Vilgertshofer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 183: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln – Überprüfung der Annahmen und Parameter für Risikoanalysen

Kohl, Kammerer, Heger, Mayer, Brennerberger, Zulauf,

Locher

€ 18,00

B 184: Methodik und Prototyp für eine optimierte Planung von Ertüchtigung und/oder Ersatz wichtiger Brücken

Kindl, Stadler, Walther, Bornmann, Freitag

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.**B 185: Bauwerksprüfung mittels 3D-Bauwerksmodellen und erweiterter/virtueller Realität**

Hill, Bahlau, Butenhof, Degener, Klein, Kukushkin, Riedlinger, Oppermann, Lambracht, Mertens

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.**2023****B 186: Integration der Handlungsanweisungen Spannungsrissskorrosion und Koppelfugen in die Nachrechnungsrichtlinie**

Zilch, Kriechbaum, Maurer, Heinrich, Weiher, Runtemund

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.**B 187: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen**

Friedrich

€ 18,00

B 188: Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke – Untersuchungsprogramm

Butz, Rill, Freundt, Böning, Werner, Fischer, Lau

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.**B 189: Weiterentwicklung der Nachrechnungsrichtlinie – Validierung erweiterter Nachweisformate zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit bestehender Spannbetonbrücken**

Fischer, Thoma, Hegger, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.**B 190: Potenziale von Monitoringdaten in einem Lebenszyklusmanagement für Brücken**

Morgenthal, Rau, Hallermann, Schellenberg, Martín-Sanz, Schuber, Kübler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.**B 191: Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau**

Thewes, Vollmann, Wahl, König, Stepien, Riepe, Weißbrod

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.