

Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 182

bast

Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau

von

Martin Seitner
Rebecca Probst

Konstruktionsgruppe Bauen AG
Kempten

André Borrmann
Simon Vilgertshofer

Technische Universität München

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 182

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 15.0622
Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau

Fachbetreuung
Jennifer Bednorz

Referat
Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung

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 978-3-95606-701-3

Bergisch Gladbach, September 2022

Kurzfassung – Abstract

Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau

Um die BIM-Methode im Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken anzuwenden und die BIM-Modelle über die Lebenszyklusphasen Planung und Bau auch im Betrieb durchgehend nutzen zu können, müssen frühzeitig Definitionen und Anforderungen festgelegt werden, die an die BIM-Methodik für das Erhaltungsmanagement gestellt werden.

Das Ziel des Projektes ist es, den gesamten Informationslebenszyklus eines Brückenbauwerkes zu untersuchen und dabei insbesondere die für das Betriebs- und Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen zu berücksichtigen. Wesentlich dabei ist es, zu identifizieren, welche Informationen relevant für die gängigen Anwendungsfälle und Szenarien im Erhaltungsmanagement sind. Die relevanten Informationen werden dann den möglichen Datenquellen zugeordnet. Der Fokus liegt dabei auf der Praxistauglichkeit sowohl beim Erhaltungsmanagement, das üblicherweise von Behörden verantwortet wird, als auch im Informationsbeschaffungsprozess, bei dem verschiedene Beteiligte involviert sind.

In den vergangenen 15 Jahren wurden im Rahmen verschiedener Projekte umfangreiche Untersuchungen zur Anwendung von BIM im Brückenbau durchgeführt. Dabei stellt vor allem die Veröffentlichung des IFC-Bridge Standards einen wesentlichen Fortschritt dar. Dennoch fehlen weiterhin konkrete Prozesse, Standards sowie Umsetzungsstrategien des Bundes.

Expertenbefragungen hinsichtlich der Informationsanforderungen und der Umsetzung von Anwendungsfällen im Erhaltungsmanagement haben zu den Ergebnissen geführt, dass der Umfang der in den bestehenden Regelwerken geforderten Informationen ausreichend ist, die Informationsquellen und die Form der Information selbst jedoch nicht einheitlich und eindeutig sind. Aus den Befragungen und Analysen des Status quo im Erhaltungsmanagement hat sich ein Konzept entwickelt, welches aus einem Frontend, also der Benutzeroberfläche eines BIM-Bestandsmanagementsystems, und aus einem Backend mit den verschiedenen Datenquellen besteht. Die Grundprinzipien des Konzeptes sind, dass alle Informationen im Backend vorhan-

den sein sollen und dass alle Informationen in einer auswertbaren Form zur Verfügung stehen müssen.

Hinsichtlich der Zuordnung zwischen Dokumenten und Modelementen wurde eine Verknüpfung über ein Metadatenkonzept oder das Hinterlegen von Links hinsichtlich der Handhabung als sinnvoll erachtet. Dabei werden die Daten in ihrer ursprünglichen Form beibehalten und so eine langfristige Archivierung sichergestellt.

Um die als notwendig identifizierten Informationen möglichst aufwandsarm zu erheben und für den Betrieb bereitzustellen, wurden zunächst die Begriffe As-built Modell und Digitale Bauwerksakte definiert. Im Rahmen einer BIM-gestützten Planung ist für ein As-built Modell sicherzustellen, dass dieses im Rahmen der Toleranzen dem gebauten Zustand entspricht. Für die Einführung des BIM-gestützten Erhaltungsmanagement bei Bestandsbrücken ergibt sich die große Herausforderung, dass Daten vielfach nur begrenzt digital vorliegen.

Für die Erstellung der digitalen Bauwerksakte wurden die Ansätze Fusion-Data und Linked-Data untersucht und der Linked-Data Ansatz weiterverfolgt. Für die Verwaltung von As-built Modellen wird das IFC 4x2 Format empfohlen.

Für die Anwendungsfälle Bauwerksprüfung, Nachrechnung, Schwertransporte, Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen, Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau sowie die Auswertung von Netzstatistiken wurde der Einfluss von BIM, die Nutzung der Informationen sowie die daraus entstehenden Soll-Prozesse im Betrieb konzipiert. Dafür wurde anhand eines praxisingerechten Konzeptes die Umsetzung der Anwendungsfälle über das Frontend dargestellt. Das Konzept verfolgt die Voraussetzungen einer webbasierten Software als Frontend, welche als Zugang zur digitalen Bauwerksakte dient.

Zur Demonstration der entwickelten Konzepte werden anhand des realen Projektes BW 27/1 der A99 die BIM-Anwendungsfälle des Erhaltungsmanagements implementiert. Auf Grundlage der in den AIA ergänzten Attributtabelle wurden die Attribuierung der BIM-Modelle sowie die Prüfung der Attribute durchgeführt. Weiterhin wurden die Dokumente auf Grundlage der entwickelten Konvention parametrisiert und regelbasiert mit den Daten verlinkt. Auf Grundlage der daraus erstellten digitalen Bauwerksakte wurde für die Umsetzung der Anwendungsfälle eine softwarespezifische Demo erstellt.

Auf Grundlage der im Projekt begegneten Technologien wird ein Ausblick in künftige Trends und Entwicklungen gegeben. Laut einer Studie von Roland Berger werden Trends wie Cloud-Computing, Big Data, Internet of Things, Künstliche Intelligenz, Blockchain, Virtual und Augmented Reality, Robotik, Sensorik oder Smart Buildings und Smart Cities auch maßgebenden Einfluss auf das Planen, Bauen und Betreiben der Bauwerke von morgen haben.

Building Information Modeling (BIM) for bridges

In order to apply the BIM method in the maintenance management of bridge structures and to be able to use the BIM models throughout the lifecycle phases of design and construction including in operation, definitions and requirements that are placed on the BIM methodology for maintenance management must be established at an early stage.

The project aims to investigate the entire information lifecycle of a bridge structure and, in particular, consider the information required for operation and maintenance management. Identifying which information is relevant to common use cases and scenarios in maintenance management is essential. The relevant information is then mapped to the possible data sources. The focus is on practicality both in conservation management, which is usually the responsibility of public authorities, and in the information acquisition process, where different stakeholders are involved.

Over the past 15 years, various projects have conducted extensive research on the application of BIM in bridge construction. In particular, the publication of the IFC Bridge Standard represents significant progress. Nevertheless, concrete processes, standards as well as implementation strategies of the federal government are still missing.

Expert surveys regarding the information requirements and the implementation of use cases in maintenance management have led to the results that the scope of information required in the existing regulations is sufficient. However, the sources of information and the form of the information itself are not uniform and clear. From the surveys and analyses of the status quo in maintenance management, a concept has been developed consisting of a front end, i.e. the user interface of a BIM inventory management system, and a back

end with the various data sources. The basic principles of the concept are that all information should be available in the backend and that all information must be available in a form that can be evaluated.

Regarding the linkage between documents and model elements, a link via a metadata concept or the deposit of links was considered helpful in handling. In doing so, the data is retained in its original form, thus ensuring long-term archiving.

In order to collect the information identified as necessary with as little effort as possible and make it available for operation, the terms as-built model and Digital Building Record were first defined. In the context of BIM-supported planning, it must be ensured for an as-built model that it corresponds to the built condition within the tolerances. For the introduction of BIM-supported maintenance management for existing bridges, the great challenge arises that data is often only available in limited digital form.

To create the Digital Building Record, Fusion-Data and Linked-Data approaches were investigated. The Linked-Data approach was pursued further. For the management of as-built models, the IFC 4x2 format is recommended.

For the use cases of structure inspection, recalculation, heavy transport, implementation of maintenance measures, the extension of the structure in the form of remodeling and expansion and the evaluation of network statistics, the influence of BIM, the use of the information and the resulting target processes in operation were designed. For this purpose, the implementation of the use cases via the frontend was presented based on a practice-oriented concept. The concept pursues the prerequisites of web-based software as a frontend that provides access to the Digital Building Record.

To demonstrate the developed concepts, the actual project BW 27/1 of the A99 is used to implement the BIM use cases of the maintenance management. Based on the attribute tables supplemented in the AIA, the attribution of the BIM models and the testing of the attributes were performed. Furthermore, the documents were parameterised based on the developed convention and linked to the data based on rules. Based on the resulting digital construction file, a software-specific demo was created to implement the use cases.

Based on the technologies encountered in the project, an outlook into future trends and developments is given. According to a study by Roland Berger, trends such as cloud computing, big data, the Internet of Things, artificial intelligence, blockchain, virtual and augmented reality, robotics, sensor technology or smart buildings and smart cities will also have a decisive influence on the planning, construction and operation of the buildings of tomorrow.

Summary

Building Information Modeling (BIM) for bridges

The „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ of the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) requires the application of Building Information Modeling (BIM) in all transport infrastructure construction for new projects to be planned from the end of 2020. The focus of the BMVI's pilot projects to date has been on the development and implementation of BIM methods for the lifecycle phases of planning and construction. After completion of a structure, the operation life cycle phase begins, which has played no or only a subordinate role in the research approaches and practical projects to date.

However, to be able to use the BIM method in maintenance management, semantically high-quality as-built models are required as part of a digital building file. These models thus become updated as-maintained models in the course of the life cycle of the structure. This requires an early definition and specification of requirements placed on the BIM methodology for maintenance management so that these can already be taken into account in the design and construction lifecycle phases. This is the only way to ensure that the models generated during development, planning and construction can also be used for operation.

The project's overall objective is to investigate the entire information life cycle of a bridge structure and, in particular, to consider the information required for operation and maintenance management. It is essential to identify which information is relevant for the common use cases and scenarios in maintenance management. The relevant information is then mapped to the possible data sources. The focus is on practicality both in maintenance management, for which public authorities are usually responsible, and in the information acquisition process, in which various stakeholders are involved.

The literature research has shown that in the past 10 to 15 years, extensive investigations have been carried out in various projects on the application of BIM in the planning, execution, operation and maintenance of bridges. On the scientific side, it has been investigated to what extent an automated

generation of BIM models of existing bridges can be carried out, how damage to bridge structures can be recorded automatically on the one hand and visualised and cataloged with the help of BIM applications on the other. In addition, several projects have dealt with the conception of a general procedure for using BIM in maintenance management and provide valuable insights for the implementation of a universal method in Germany. The publication of the IFC-Bridge standard also represents significant progress in this regard, which should be integrated into future work. However, further investigations are necessary in any case in which use cases, processes and model contents must be designed and defined as concrete implementation strategies on the basis of existing workflows, standards and guidelines and the strategies of the federal government.

Expert surveys were conducted to determine the information requirements. In the sub-areas of maintenance management, these concluded that the scope of the information required in the existing regulations is sufficient. However, there were differences in the answers about the source, availability, location and form of information.

The questioning of the experts was carried out with guiding questions aimed at the individual use cases in the operational phase. They include the processing of the activities, the form, format and procurement of information and the expectations of a BIM-based provision of information. The guiding questions served to roughly structure the otherwise agile discussions and don't provide precise answers to a catalog of questions.

The concept shown in figure 1-1 was developed from the surveys and analyses of the status quo in maintenance management. On the one hand, the front end, i.e. the user interfaces of a BIM inventory management system and, on the other hand, the back end with the respective data sources are shown. During the analysis of information requirements of the individual application scenarios for the preservation of bridge structures, it was found that some information used in the status quo of preservation is already contained in the models after the design and construction phase. This information is kept in the models by attributing the different components and is further used in the design and construction phase as part of the use cases.

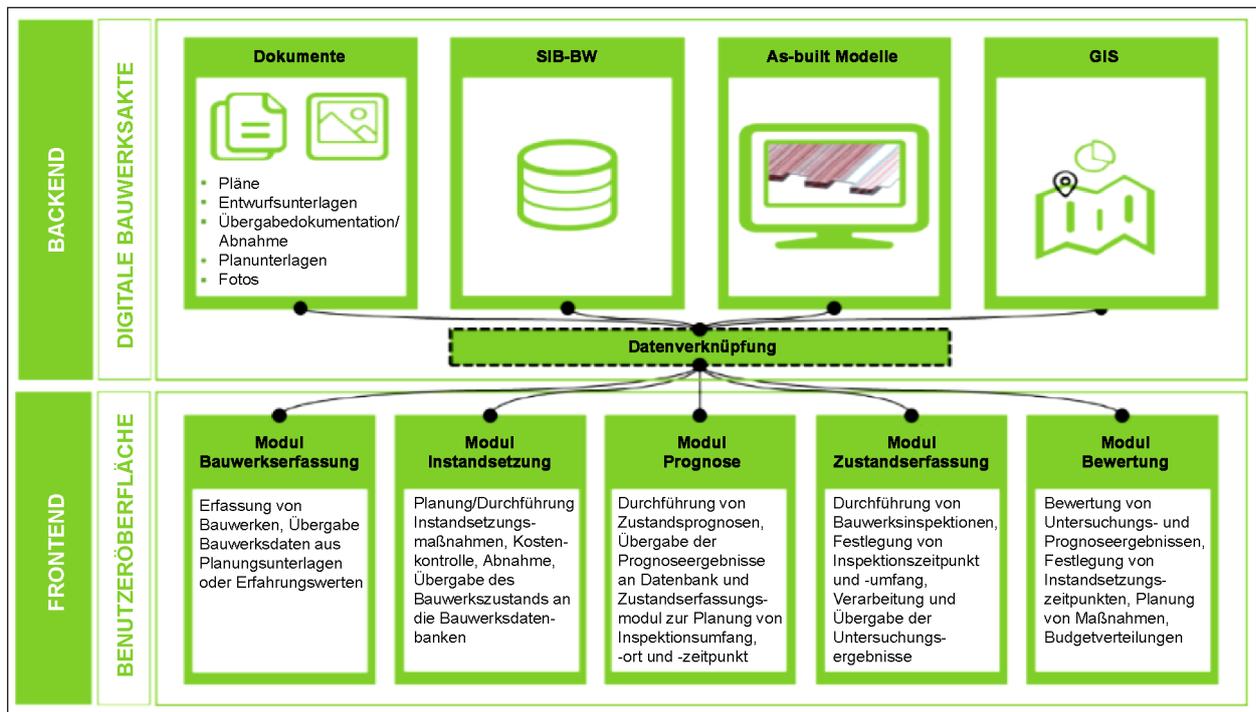


Fig. 1: Data management in BIM-based maintenance management further developed from (SCHIEBL et al., 2006)

The critical principles of the concept are:

- Each piece of information should only be available once in the backend (SSOT – single source of truth) and must only be maintained in one place. If information is available in several places due to modeling, software or guidelines, it must alternatively be ensured by a process that a change is always updated at each place.
- All information must be available in a structured and evaluable form.
- All information that forms the data basis of the backend should be stored centrally so that queries are possible across projects and structures. Web-based storage is a good solution here, as it allows access from any location.

During processing, it was also found that the assignment of documents and model elements utilising a link is considered helpful. In doing so, the data is retained in its original form, thus ensuring long-term archiving. The one-time effort involved in the necessary cataloging of documents is justified in the long term by the lower effort required for subsequent data queries.

It was investigated how the necessary information could be collected and made available for operation with as little effort as possible. For the information

identified as necessary, it was investigated how it can be collected and made available for operation with as little effort as possible. The data requirements for the BIM-based implementation of the above-mentioned use cases result in the following requirements for an as-built model. In this table, the information is presented in a component-oriented manner. A distinction is made between whether the information is to be stored in the model as an attribute (x) or whether the information is to be linked to the component (o).

For the linking between the data, a convention was developed which consists of location information and component information.

First, the terms as-built model and Digital Building Record (Digitale Bauwerksakte) were defined as follows:

An as-built model is a part of the Digital Building Record. The as-built model essentially corresponds to the digital building model that was created during the execution and planning of the building. In principle, the as-built model should contain all information relevant to operation and maintenance that is also part of the design and execution models.

The Digital Building Record forms the essential data basis of the BIM-supported implementation

Concerning the creation of the as-built model, a distinction was made between new structures and existing structures. In the context of BIM-supported planning, it must be ensured for an as-built model that the information relevant for the as-built model that is generated during execution is passed on to the BIM author who is responsible for creating the as-built model. This is the only way to ensure that the final as-built model corresponds to the built condition. Ultimately, the client must ensure that the correct and complete creation of an as-built model following the requirements from the use cases is contractually ensured and recorded in corresponding client information requirements.

The great challenge of introducing BIM-supported maintenance management for existing bridges is that data is often only available in digital form to a limited extent. Missing information must therefore be added subsequently. Depending on the requirements of the as-built model, manual modeling, parametric modeling, knowledge-based modeling and automatic geometry generation were identified as useful for the model generation of existing bridges.

The Fusion-Data and Linked-Data approaches were investigated for the creation of the digital construction file. The Linked Data approach is favoured and serves as the basis for further considerations.

For the management of as-built models, the IFC 4x2 format is recommended. With the new IFC 4x2 extension for bridge structures, a cross-project standardization of the component catalogs taking into account additional features based on the German codes is efficiently possible (7th OKSTRA Symposium, 2018).

Furthermore, it is described how required data is optimally recorded and transferred, how the processes change and which requirements arise from this. In the models, the required data that semantically extends a model is stored via attributes. The necessary attributes can be defined in a type and attribute table (TAT). The so-called IFC-PropertySets play an essential role here. For the automated verification of the alphanumeric information in a model, the web-based tool properBIM was developed at the Chair of Computer Aided Modeling and Simulation. Such a TAT can be created and edited online by different project participants. In addition, the examination of the

geometric accuracy is also considered, which can be carried out with various methods, such as the comparison of the BIM model with a superimposed point cloud. For the use cases considered in the project, tolerances in the range of the currently valid construction tolerances are conceivable, taking measurement tolerances into account. These tolerances must be considered when creating the as-built models.

The influence of BIM, the use of the information and the resulting target processes in operation are designed for the use cases of structure inspection, recalculation, heavy transport, implementation of maintenance measures, expansion of the structure in the form of conversion and extension as well as the evaluation of network statistics.

For this purpose, the implementation of the use cases via the frontend was presented using a practical concept. Core aspects of the concept are:

- Web-based software as frontend
- The frontend is used to access the data in the digital construction file.
- Via the frontend, meta-information can be entered for each building. This information is stored in the backend but is not assigned to any data sources in Digital Building Record.
- The relevant information from the digital construction file is displayed through the frontend for the implementation of a use case.

To demonstrate the developed concepts, the BIM use cases were implemented using an actual project. For this purpose, the new construction project BW 27/1 of the A99 is chosen to implement data management in planning and construction.

In the course of the as-built model creation, the verification of the as-planned models with a laser scan for the creation of the as-built geometry and the addition of the required information from the construction execution was already carried out. To integrate the concepts into the BW 27/1 project, the attribution of the BIM models and their verification was carried out based on the attribute tables supplemented in the AIA. Furthermore, the documents were parameterised based on the developed convention and linked to the data based on rules. Based on the resulting digital building file, a software-specific demo was created to implement

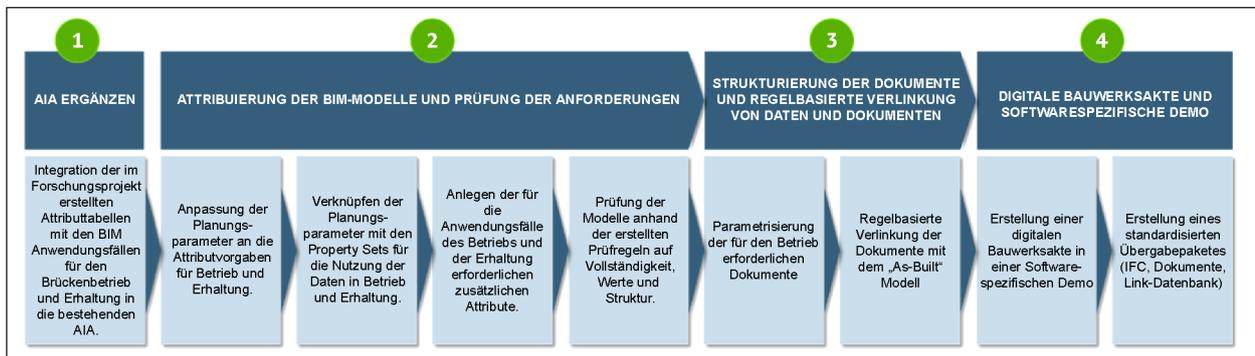


Fig. 1-4: Implementation steps for the integration of research results into a project

the use cases. The individual steps are shown in figure 1-4.

Finally, based on the technologies investigated in the project, an outlook on future trends and developments is given that may be relevant for implementing BIM in maintenance management.

Digitalisation is one of the drivers of social change and has a significant impact on the construction industry. According to a study by Roland Berger, trends such as cloud computing, big data, the Internet of Things, artificial intelligence, blockchain, virtual and augmented reality, robotics, sensor technology, smart buildings and smart cities will also have a significant influence on the design, construction and operation of tomorrow's buildings.

Inhalt

Glossar	13	4.4.1 Beschreibung des Anwendungsfalles	47
1 Problemstellung und Zielsetzung des Projekts	14	4.4.2 Einfluss von BIM auf den Anwendungsfall Schwertransporte	50
1.1 Gesamtziel des Projektes	14	4.5 Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen	50
2 Einleitung	15	4.5.1 Beschreibung des Anwendungsfalles	50
2.1 Umgang mit diesem Dokument	15	4.5.2 Informationsanforderungen	51
2.2 Zusammenfassung	15	4.5.3 Einfluss von BIM auf die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen	52
2.3 Projektkonzept	20	4.6 Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau	52
3 AP 1: Literaturrecherche	20	4.6.1 Beschreibung des Anwendungsfalles	52
3.1 Nationale und internationale Vorarbeiten	20	4.6.2 Informationsanforderungen	52
3.2 Fazit der Literaturrecherche	24	4.6.3 Einfluss von BIM auf die Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau	52
4 AP 2: Ermittlung und Definition von Zielen und Anforderungen an BIM im Betrieb	24	4.7 Auswertung von Netzstatistiken	52
4.1 Bauwerksdokumentation und Digitale Bauwerksakte	26	4.7.1 Beschreibung des Anwendungsfalles	52
4.1.1 Informationsanforderungen aus Planung	27	4.7.2 Informationsanforderungen	53
4.1.2 Informationsanforderungen aus Ausführung	29	4.7.3 Einfluss von BIM auf die Auswertung von Netzstatistiken	53
4.2 Bauwerksprüfung	36	5 AP3: Analyse der langfristigen Verfügbarkeit von Informationen ...	54
4.2.1 Prozessbeschreibung	38	5.1 Konzepte zur Erstellung eines As-built Modells im Zuge einer durchgängigen BIM-gestützten Planung	54
4.2.2 Informationsanforderungen	39	5.1.1 As-built Modell	54
4.2.3 Einfluss von BIM in der Bauwerksprüfung	44	5.1.2 Digitale Bauwerksakte	55
4.3 Nachrechnung	44	5.2 Konzepte zur Erstellung von As-built Modellen für bestehende Bauwerke ..	57
4.3.1 Beschreibung des Anwendungsfalles	44	5.2.1 Einschränkungen im Vergleich zu Neubauten	58
4.3.2 Prozessbeschreibung	45	5.2.2 Modellerzeugung	58
4.3.3 Informationsanforderungen	46	5.3 Verwaltung von As-built Modellen ...	59
4.3.4 Einfluss von BIM auf den Anwendungsfall Nachrechnung	47		
4.4 Schwertransporte	47		

5.4	Veränderung von As-built Modellen im IFC-Format	60	8.4	Strukturierung der Dokumente und regelbasierte Verlinkung von Daten und Dokumenten	97
5.5	Direkte Verknüpfung von Informationen mit dem Modell.	61	8.5	Erstellung einer Digitalen Bauwerksakte in einer softwarespezifischen Demo	97
5.5.1	Verlinkung von Dokumenten mit dem Modell.	61			
5.5.2	Nutzung des Modells im Feld.	61			
6	AP 4: Optimierte Erfassung der für die Betriebsphase notwendigen Daten	61	9	AP 7: Zukunftstechnologien im Erhaltungsmanagement	99
6.1	Erfassung von alphanumerischen Informationen	62	9.1	Digitale Zwillinge	99
6.2	Automatisierte Prüfung von alphanumerischen Informationen	63	9.2	Cloud-Services und Cloud-Computing	100
6.3	Prüfung der geometrischen Genauigkeit	64	9.3	Internet of Things (IoT)	100
6.4	Rollen und Verantwortlichkeiten im Hinblick auf die Qualitätssicherung	65	9.4	Künstliche Intelligenz (KI).	101
6.5	Anforderungen an ein CDE	65	9.5	Sensorik	102
			9.6	Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)	102
7	AP 5: Entwicklung eines praxisgerechten Konzepts für den modellbasierten Betrieb von Brücken	66			
7.1	Übersicht	66			
7.2	AwF Bauwerksprüfung.	68			
7.3	AwF Nachrechnung	79			
7.4	AwF Schwertransporte.	84			
7.5	AwF Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen	87			
7.6	AwF Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau	89			
7.7	AwF Auswertung von Netzstatistiken.	91			
7.8	Zusammenfassung.	94			
8	AP 6: Prototypischer Nachweis der Funktionalität der Konzepte anhand realer Projekte.	94			
8.1	BIM-Pilotprojekt Ersatzneubau BW 27/1 an der A99	94			
8.2	Implementierungsschritte der Forschungsergebnisse in das Projekt	95			
8.3	Attribuierung der BIM-Modelle und Prüfung der Anforderungen	96			
				Literatur	104
				Tabellen	107
				Bilder	107

Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Glossar

As-built Modell

Das As-built Modell (auch Wiegebaute Modell) ist ein Teil der Digitalen Bauwerksakte. Es entspricht im Wesentlichen dem digitalen Bauwerksmodell, das im Laufe der Bauausführung erstellt wurde und den tatsächlichen Bestand nach der Ausführung abbildet. Es besteht aus einem oder mehreren BIM-Modellen zur Baudokumentation der abgeschlossenen Baumaßnahme. Dabei werden die BIM-Modelle an das tatsächlich gebaute Bauwerk angepasst. Es gibt den Ist-Zustand bis zum gewählten Detaillierungsgrad in Gänze wieder. Siehe Kapitel 5.1.1.

As-maintained Modell

Wird das As-built Modell während der Lebensdauer eines Bauwerks bspw. im Zuge von Erhaltungs- oder Erweiterungsmaßnahmen verändert, wird es auch als As-maintained Modell bezeichnet.

CDE (Common Data Environment)

Digitale Plattform zur gemeinsamen Datenablage und Datenaustausch sowie zur Projektverwaltung und Archivierung sämtlicher Projektinformationen. Ermöglicht eine gemeinsame und einheitliche Nomenklatur als gemeinsamer Schlüssel zur digitalen Zusammenarbeit. Synonyme: Projektplattform, Projektkommunikationssystem

Bestandsmanagementsystem

Software, mit der auf die Bestandsdaten eines Bauwerks (Digitale Bauwerksakte) zugegriffen werden kann. Wesentlicher Bestandteil des Bestandsmanagementsystems ist ein Frontend (User Interface), das diesen Zugriff ermöglicht und die Bestandsdaten strukturiert visualisiert.

Digitale Bauwerksakte

Im Kontext dieses Projekts ist die Digitale Bauwerksakte die wesentliche Datengrundlage der BIM-gestützten Umsetzung von Bauwerksbetrieb und -erhaltung. Die Digitale Bauwerksakte ist dabei nicht als CDE zu verstehen, da es sich bei der Digitalen Bauwerksakte um Daten und nicht um ein Tool zur Datenverwaltung handelt. Die Digitale Bau-

werksakte setzt sich aus den folgenden vier Teilbereichen zusammen:

- Dokumente,
- As-built Modelle,
- GIS-Daten,
- ASB ING Daten in SIB-Bauwerke.
Siehe Kapitel 5.1.2.

Gesamtmodell

Ein Gesamtmodell ist ein vom Auftraggeber freigegebenes, koordiniertes, digitales Bauwerksmodell. Es ist das Ergebnis des modellbasierten Koordinationsprozesses, enthält den qualitätsgesicherten Planungsstand zu einem definierten Meilenstein des Projekts und bildet die Grundlage für die nächste Projektphase.

Teilmodell

Ein Teilmodell ist ein Teil eines nach projektspezifischen Gesichtspunkten geometrisch bzw. räumlich geteilten Fach- und/oder Gesamtmodells. Kriterien zur Teilung können z. B. eine räumliche oder zeitliche Trennung von Projektabschnitten oder die Begrenzung der Dateigröße des Modells sein.

Fachmodell

Digitales Bauwerksmodell, das die Planungsergebnisse eines Fachplaners für ein bestimmtes Gewerk enthält.

1 Problemstellung und Zielsetzung des Projekts

Der „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sieht die standardmäßige Anwendung der Arbeitsmethodik Building Information Modeling (kurz: BIM) im gesamten Verkehrsinfrastrukturbau bei neu zu planenden Projekten ab Ende 2020 vor. Der Schwerpunkt der Pilotprojekte des BMVI lag bisher auf der Entwicklung und Implementierung von BIM-Methoden für die Lebenszyklusphasen Planung und Bau. Nach der Fertigstellung und mit Beginn der Nutzung eines Bauwerkes beginnt die Lebenszyklusphase Betrieb, die bei den bisherigen Forschungsansätzen und praxisnahen Projekten bisher keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Nach Fertigstellung eines Bauwerks müssen den Betreibern von Straßenverkehrsinfrastrukturen As-built Modelle übergeben werden. Zum aktuellen Zeitpunkt unterscheiden sich diese Modelle allerdings meist nicht von den Modellen, die im Rahmen der Ausführungsplanung erstellt wurden. Um die BIM-Methode auch im Erhaltungsmanagement nutzen zu können, sind allerdings semantisch hochwertige As-built Modelle als Teil einer Digitalen Bauwerksakte erforderlich. Diese Modelle werden damit im Zuge des Lebenszyklus des Bauwerks zu fortgeschriebenen As-maintained Modellen. Dies erfordert eine frühzeitige Definition und Festlegung von Anforderungen, die an die BIM-Methodik für das Erhaltungsmanagement gestellt werden, damit diese bereits in den Lebenszyklusphasen Planen und Bauen berücksichtigt werden können. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Modelle, die in der Entwicklung, bei der Planung und beim Bau generiert werden, auch für den Betrieb verwendet werden können.

1.1 Gesamtziel des Projektes

Das Gesamtziel des Projektes ist es, den gesamten Informationslebenszyklus eines Brückenbauwerkes zu untersuchen und dabei insbesondere die für das Betriebs- und Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen zu berücksichtigen. Dabei soll im Kontext von Anwendungsfällen aufgezeigt werden, wann welche dieser Information in welcher Form benötigt werden, wer sie ursprünglich erstellt hat und wer im Laufe des Lebenszyklus die Information nutzt und ggf. verändert.

Die für ein Brückenbauwerk relevanten Informationen sind:

1. Geometrische Informationen: Informationen, welche geometrisch durch Modelle beschrieben werden.
2. Semantische Informationen: Attribute, durch die Eigenschaften von Bauteilen und die Beziehungen zwischen diesen Bauteilen beschrieben werden.
3. Zeitvariable Informationen: Da Bauwerke einer stetigen Bewitterung und einer stetigen Belastung ausgesetzt sind, ist der Zustand zu verschiedenen Zeitpunkten zu bestimmen. Optimalerweise werden Eigenschaften der Bauteile (inkl. eventueller Schäden) sowohl räumlich als auch zeitlich so definiert, dass sich die Daten über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks aktualisieren lassen, ohne dass dabei vorhandene Informationen zu früheren Zeitpunkten verloren gehen.
4. Sicherheitsrelevante Informationen: Um den Zustand und insbesondere die Auswirkungen von vorgefundenen Schäden bestimmen zu können, sind sicherheitsrelevante Daten wie z. B. die Ausnutzung, das Verhältnis von erforderlicher Abmessung zu vorhandener Abmessung, für die jeweiligen Bauteile zu hinterlegen.
5. Materialrelevante Daten: In der Erfassung der Bauwerke werden die Materialdaten inkl. Ü-Zeichen, Zulassungen etc. bauteilspezifisch definiert und abgelegt, um zu einem späteren Zeitpunkt einerseits für das Bauwerk spezifische Eigenschaften bestimmen zu können, andererseits durch den Querverweis zwischen Bauteil und geometrischer, semantischer, zeitvariabler und sicherheitsrelevanter Information eine Prognose für die zukünftige Entwicklung erstellen zu können, mit dem Ziel, rechtzeitig Maßnahmen ergreifen zu können.
6. Dokumente: z. B. Bilder, Berichte und andere Dokumente, die wichtig sind, um sämtliche relevanten Daten des Bauwerks verfügbare und auswertbar zu machen.

Das Hauptaugenmerk sollte zukünftig darin liegen, diese Informationen nicht nur verfügbar zu machen, sondern sie direkt bei ihrer Erzeugung maschinenlesbar zu benennen und zu kategorisieren. Automatisiertes Filtern, BIG Data, DataMining und Machine Learning Verfahren werden erst dadurch anwendbar.

Diese Verfahren können Muster und Zusammenhänge identifizieren, welche durch ingenieurtechnischen Sachverstand bewertet werden können. Schäden, sich abzeichnende Unterdimensionierungen und Erhaltungsmaßnahmen können mit „predictive analysis“ Methoden vorausschauend erkannt und geplant werden. Weiterhin kann diese Zusammenstellung der relevanten Daten die Grundlage für eine Auswertung mithilfe der Künstlichen Intelligenz (KI) bilden, sodass dann weitere Zusammenhänge ermittelt werden können. Ziel beider Ansätze ist es, bereits heute schon die zukünftige Entwicklung von Infrastrukturbauwerken zu bestimmen und dadurch kostengünstige Maßnahmen zu ergreifen, die die Lebensdauer dieser systemrelevanten Bauwerke auf optimale Weise verlängert.

Auch unter Berücksichtigung der möglichen Anwendung solcher Verfahren wurden im Rahmen dieses Projektes die Informationsanforderungen entsprechend den erforderlichen Szenarien definiert. So können in Zukunft BIM-Projekte unter Berücksichtigung von Anwendungsfällen im Betrieb standardisiert ausgeschrieben werden, für die bereits die Anforderungen an die im Erhaltungsmanagement notwendige Daten definiert sind. Weiterhin wurde untersucht, wie das Erhaltungsmanagement auf Basis digitaler hochwertiger Daten aussehen kann, welche Chancen sich daraus ergeben und welche weiteren Entwicklungen für dieses systematisierte Erhaltungsmanagement notwendig sind.

Dazu wurden die Informationsanforderungen aus dem Erhaltungsmanagement so strukturiert, dass die Herkunft eindeutig festgelegt werden kann. Damit einher geht die Definition, welche Attribute (auch Eigenschaften oder Merkmale) in welchem Teil einer Digitalen Bauwerksakte beschrieben sind.

Ziel des Projekts war es zu identifizieren, welche Informationen relevant für die gängigen Anwendungsfälle und Szenarien im Erhaltungsmanagement sind. Die relevanten Informationen werden dann den möglichen Datenquellen zugeordnet. Der Fokus liegt dabei auf der Praxistauglichkeit sowohl beim Erhaltungsmanagement, das üblicherweise von Behörden verantwortet wird, als auch im Informationsbeschaffungsprozess, bei dem verschiedene Beteiligte involviert sind.

2 Einleitung

2.1 Umgang mit diesem Dokument

Dieses Dokument stellt den Schlussbericht des Projekts „BIM im Brückenbau“ dar. In diesem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Phase 1, der Ist-Analyse, der Phase 2, der Soll-Planung sowie die Umsetzung dokumentiert.

2.2 Zusammenfassung

Durch die Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass in den vergangenen 10 bis 15 Jahren im Rahmen verschiedener Projekte umfangreiche Untersuchungen zur Anwendung von BIM im Kontext der Planung, der Ausführung sowie des Betriebs und der Erhaltung von Brücken durchgeführt wurden. Auf wissenschaftlicher Seite wurde dabei untersucht, inwiefern eine automatisierte Generierung der BIM-Modelle von Bestandsbrücken durchgeführt werden kann, wie Schäden an Brückenbauwerken einerseits automatisiert aufgenommen und andererseits mithilfe von BIM-Anwendungen visualisiert und katalogisiert werden können. Zusätzlich haben sich mehrere Projekte mit der Konzeption eines generellen Vorgehens zur Nutzung von BIM im Erhaltungsmanagement beschäftigt und liefern wertvolle Erkenntnisse für die Umsetzung einer durchgängigen Methode in Deutschland. Auch die Veröffentlichung des IFC-Bridge Standards stellt dabei einen wesentlichen Fortschritt dar, der unbedingt in zukünftige Arbeiten integriert werden sollte. Es sind aber in jedem Fall weitere Untersuchungen notwendig, in denen Anwendungsfälle, Prozesse und Modellinhalte konzipiert und auf Basis bestehender Arbeitsabläufe, Normen und Richtlinien sowie den Strategien des Bundes als konkrete Umsetzungsstrategien definiert werden müssen.

Zur Ermittlung der Informationsanforderungen wurden Expertenbefragungen durchgeführt. Diese haben in den Teilbereichen im Erhaltungsmanagement zum Ergebnis geführt, dass der Umfang, der in den bestehenden Regelwerken geforderten Informationen ausreichend ist. Unterschiede in den Antworten gab es jedoch bei der Frage nach der Informationsquelle, dem Ort, an dem die Information vorhanden sein soll, und Form, in der eine Information vorliegen soll.

Die Befragung der Experten¹ erfolgte mit auf die jeweiligen Anwendungsfälle in der Betriebsphase abzielenden Leitfragen, beispielsweise:

- Welche wiederkehrenden Tätigkeiten/Anwendungsfälle fallen häufig an und wie sieht der Bearbeitungsprozess dieser Tätigkeiten i. d. R. aus?
- Über welche Informationen verfügen Sie i. d. R. bei der Bearbeitung von wiederkehrenden Aufgaben?
- Welche Informationen wären ergänzend dazu hilfreich?
- In welcher Form liegen die Informationen üblicherweise vor?
- In welchem Format sollten Informationen idealerweise vorliegen?
- Wie verarbeiten Sie die Informationen und stellen die nachhaltige Auswertbarkeit sicher?
- Worin liegen die Probleme bei der Beschaffung und Nutzung von Daten?
- Wer benötigt die Informationen? Müssen Informationen beispielsweise an Dritte weitergegeben werden?
- Welche neuen Informationen entstehen bei der spezifischen wiederkehrenden Aufgabe und wie werden sie verarbeitet bzw. dokumentiert?
- Auf welche Kriterien/Funktionalitäten würden Sie bei einer BIM-basierten Informationsbereitstellung Wert legen?

Die Leitfragen dienten der groben Strukturierung der ansonsten agil gehaltenen Gespräche und weniger einer präzisen Beantwortung eines Fragenkatalogs.

Bei der Auswertung der Informationsanforderungen von Baulastträgern im Brückenbau in BIM-Projekten sind ebenfalls unterschiedliche Strategien zu erkennen. Bei Auftraggebern, die Informationen für

As-built Modelle vorgeben, ist weitestgehend die ASB-ING die Grundlage dieser Anforderungen. Die Strategien unterscheiden sich im Wesentlichen im Umfang der Informationen. Es wird zum einen ein Maximalprinzip gewählt, bei dem alle Attribute, die nach der ASB-ING in SIB-BW einzutragen sind, im Modell eingegeben werden sollen. In anderen Fällen wurde ein Minimalprinzip gewählt, bei dem nur Attribute modelliert werden, die ohnehin schon während der Planung im Modell erforderlich sind.

Auf Basis der Befragung von Experten aus Planung und Bau zu diesen Vorgehensweisen wurde eindeutig ein erhöhter Aufwand beim Maximalprinzip festgestellt. Des Weiteren wurde angemerkt, dass bei einem Maximalprinzip die Verantwortung über eine Information in der gängigen Praxis nicht beim Bauunternehmen bzw. beim Planer läge. Dies gilt vor allem für die Projektinformationen. Die Projektinformationen fassen häufig die wichtigsten geometrischen Parameter der Brücke zusammen. Enthalten sind beispielsweise die minimale lichte Höhe und Breite, die Bauwerkslänge (nach ASB-ING) etc. Es wird empfohlen, dass der erforderliche Informationsgehalt im Modell in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) so festgelegt wird, dass durch die Bauunternehmen nur die Informationen gepflegt werden müssen, die auch in ihrem Zuständigkeitsbereich liegen. Die Attribute sollten phasengerecht gefordert werden.

Eine weitere Anforderung, die sich aus den Befragungen ergab, ist die einmalige Eingabe und Pflege der Daten. Nach Übergabe des Modells an den Betreiber ist dieser für die Pflege der Daten zuständig. Im bisherigen Workflow müssen viele Attribute zunächst am Modell und zusätzlich in SIB-Bauwerke eingegeben werden. Daraus ergibt sich ein zusätzlicher Aufwand bei der Eingabe, Prüfung und der Weitergabe der Daten an SIB-BW. Der geäußerte Wunsch ist eine bidirektionale Schnittstelle zwischen Modell und SIB-BW, bei der die Informationen nach Prüfung in die Bauwerksdatenbank überspielt und synchronisiert werden können.

Aus den Befragungen und Analysen des Status quo im Erhaltungsmanagement hat sich das in Bild 2-1 dargestellte Konzept entwickelt. Dargestellt ist zum einen das Frontend, also die Benutzeroberflächen eines BIM-Bestandsmanagementsystems, und zum anderen das Backend mit den jeweiligen Datenquellen. Bei der Analyse der Informationsanforderungen der einzelnen Anwendungsszenarien zur

¹ Aus Autobahndirektion Südbayern, DEGES, Konstruktionsgruppe Bauen, TU München, aus den Bereichen Planung, Nachrechnung, Erhaltung und Bauwerkprüfung, insgesamt 11 Experten.

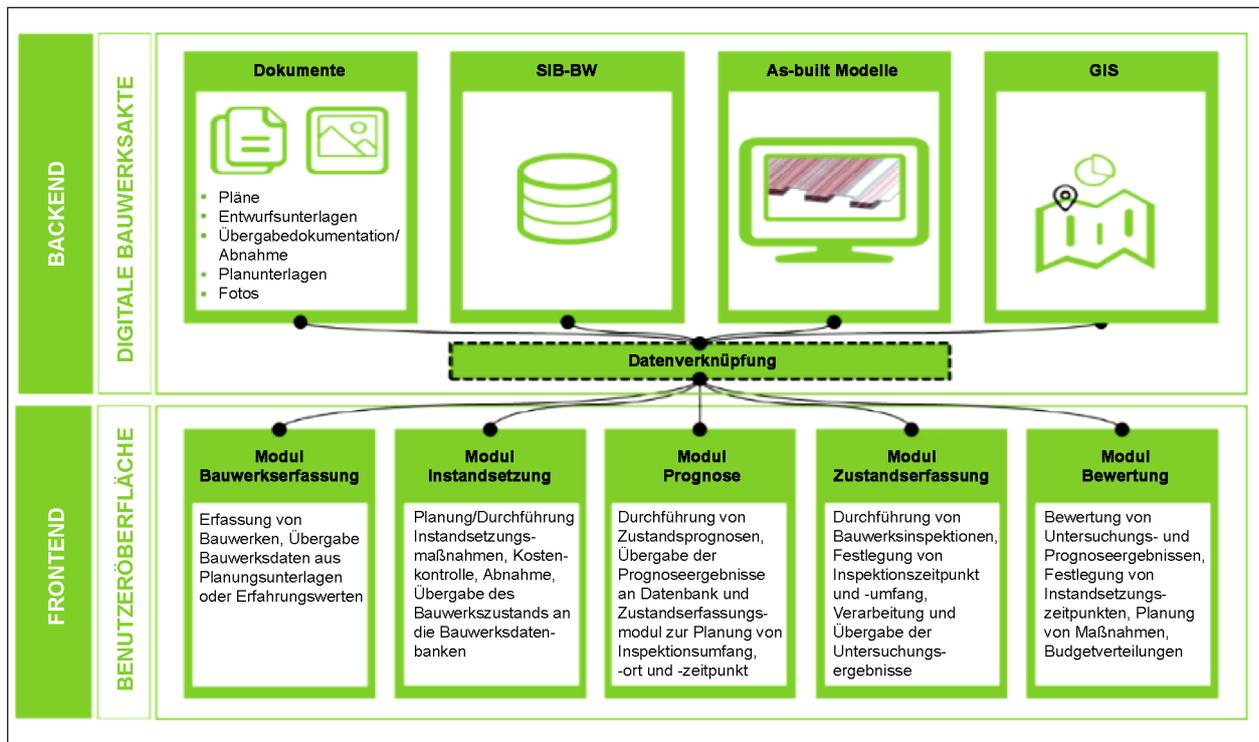


Bild 2-1: Datenmanagement im BIM basierten Erhaltungsmanagement weiterentwickelt aus (SCHIEßL et al., 2006)

Erhaltung von Brückenbauwerken stellte sich heraus, dass einige Informationen, die im Status quo der Erhaltung verwendet werden, bereits nach der Planungs- und Bauphase in den Modellen enthalten sind. Diese Informationen werden in den Modellen durch Attribuierung der verschiedenen Bauteile vorgehalten und im Rahmen der Anwendungsfälle in der Planungs- und Bauphase weiterverwendet.

Wichtige Grundprinzipien des Konzepts sind:

- Jede Information sollte nur einmal im Backend vorhanden sein (SSOT – single source of truth) und muss nur an einer Stelle gepflegt werden. Falls Informationen modellierungs-, software- oder richtlinienbedingt an mehreren Stellen vorliegen, muss alternativ prozessual sichergestellt werden, dass eine Änderung immer an jeder Stelle aktualisiert wird.
- Alle Informationen müssen in einer strukturierten und auswertbaren Form zur Verfügung stehen.
- Alle Informationen, die die Datenbasis des Backends bilden, sollten zentral gespeichert werden, sodass projekt- und bauwerksübergreifende Abfragen möglich sind. Hier bietet sich

eine webbasierte Speicherung an, die einen ortsunabhängigen Zugriff ermöglicht.

Bei der Bearbeitung des Arbeitspaketes 2 hat sich weiterhin ergeben, dass die Zuordnung zwischen Dokumenten und Modellelementen über eine Verknüpfung durch beispielsweise das Hinterlegen von Links hinsichtlich der Handhabung als sinnvoll erachtet wird. Dabei werden die Daten in ihrer ursprünglichen Form beibehalten und so eine langfristige Archivierung sichergestellt. Der Aufwand, der bei der notwendigen Katalogisierung der Dokumente einmalig anfällt, rechtfertigt sich auf lange Sicht durch einen geringeren Aufwand bei späteren Datenabfragen.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3 wurde für die als notwendig identifizierten Informationen untersucht, wie diese möglichst aufwandsarm erhoben und für den Betrieb bereitgestellt werden können. Dabei wurden zunächst die Begriffe „As-built“ Modell und „Digitale Bauwerksakte“ folgendermaßen definiert:

Ein As-built Modell (auch wiegebaut Modell) ist ein Teil der Digitalen Bauwerksakte (siehe Kapitel 5.1.2).

Das As-built Modell entspricht dabei im Wesentlichen dem digitalen Bauwerksmodell, das im Laufe

der Ausführungsplanung des Bauwerks erstellt wurde. Prinzipiell sollten im As-built Modell alle für den Betrieb und die Erhaltung relevanten Informationen, die auch Teil der Modelle der Planung und Ausführung sind, enthalten sein.

Die Digitale Bauwerksakte bildet die wesentliche Datengrundlage der BIM-gestützten Umsetzung von Bauwerksbetrieb und -erhaltung und ist wie folgt charakterisiert:

- Sammlung von Informationen aus der Planungs- und Bauphase in Modellen, Dokumenten und weiteren relevanten Datenquellen.
- Ergebnis der Übergabe von Modellen, Dokumenten und weiteren relevanten Daten aus Planung und Ausführung in den Betrieb.
- Nutzung der gesammelten Modelle, Daten und Dokumente (Backend) für die Anwendungsfälle in der Betriebs- und Erhaltungsphase mittels der Benutzeroberfläche eines Bestandsmanagementsystems (Frontend).

Die Digitale Bauwerksakte setzt sich aus den folgenden vier Teilbereichen zusammen:

- Dokumente wie Protokolle, Pläne, Bautagebuch, Fotos etc. in verschiedenen Formaten (PDF, JPG etc.)
- As-built Modelle
- GIS-Daten
- Daten, die entsprechend der ASB-ING in SIB-Bauwerke vorgehalten werden

Hinsichtlich der Erstellung des As-built Modells wurde zwischen Neubaubauwerke und bestehende Bauwerke unterschieden. Im Rahmen einer BIM-gestützten Planung ist für ein As-built Modell sicherzustellen, dass die für das As-built Modell relevanten Informationen, die während der Ausführung generiert werden, an den BIM-Autor, der für die Erstellung des As-built Modells verantwortlich ist, weitergegeben werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass das finale As-built Modell tatsächlich dem gebauten Zustand entspricht. Letztlich muss der Auftraggeber sicherstellen, dass die korrekte und vollständige Erstellung eines As-built Modells entsprechend den Anforderungen aus den Anwendungsfällen vertraglich sichergestellt und in entsprechenden Auftraggeber-Informationsanforderungen festgehalten ist.

Für die Einführung des BIM-gestützten Erhaltungsmanagements bei Bestandsbrücken ergibt sich die große Herausforderung, dass Daten vielfach nur begrenzt digital vorliegen. Fehlende Informationen müssen daher nachträglich ergänzt werden. Je nach Anforderung an das As-built Modell wurden für die Modellierung von Bestandsbrücken die Methoden Manuelles Modellieren, Parametrisches Modellieren, Wissensbasiertes Modellieren und Automatische Geometriegenerierung zur Modellerzeugung als sinnvoll identifiziert.

Für die Erstellung der Digitalen Bauwerksakte wurden die Ansätze Fusion-Data und Linked-Data untersucht, wobei der Linked-Data Ansatz favorisiert wird und als Grundlage für die weiteren Betrachtungen dient.

Für die Verwaltung von As-built Modellen wird das IFC 4x2 Format empfohlen. Mit der neuen IFC 4x2 Erweiterung für Brückenbauwerke ist eine projekübergreifende Standardisierung der Bauteilkataloge unter Berücksichtigung zusätzlicher Merkmale auf Basis der deutschen Regelwerke effizient möglich (7. OKSTRA-Symposium, 2018).

Im Arbeitspaket 4 wird beschrieben, wie erforderliche Daten optimiert erfasst und übergeben werden, wie sich die Prozesse verändern und welche Anforderungen daraus entstehen. In den Modellen werden die erforderlichen Daten, die ein Modell semantisch erweitern, über Attribute gespeichert. Die dafür notwendigen Attribute können in einer Typ- und Attributtabelle (TAT) definiert werden. Dabei spielen die sog. IFC-PropertySets eine wesentliche Rolle. Zur automatisierten Prüfung der alphanumerischen Informationen in einem Modell wurde am Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation das webbasierte Tool properBIM entwickelt, mit dem eine solche TAT online von verschiedenen Projektbeteiligten erstellt und bearbeitet werden kann. Daneben wird auch die Prüfung der geometrischen Genauigkeit betrachtet, welche mit verschiedenen Methoden, wie beispielsweise dem Abgleich des BIM-Modells mit einer überlagerten Punktwolke, durchgeführt werden kann. Für die im Projekt betrachteten Anwendungsfälle sind Toleranzen im Bereich der aktuell geltenden Bautoleranzen unter Berücksichtigung der Messtoleranzen denkbar. Diese Toleranzen müssen bei der Erstellung der As-built Modelle betrachtet werden.

Im Rahmen des Arbeitspakets 5 wird für die folgenden Anwendungsfälle der Einfluss von BIM, die Nut-

zung der Informationen sowie die daraus entstehenden Soll-Prozesse im Betrieb konzipiert:

- Bauwerksprüfung
- Nachrechnung
- Schwertransporte
- Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen
- Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau
- Auswertung von Netzstatistiken

Dafür wurde anhand eines praxismgerechten Konzepts die Umsetzung der Anwendungsfälle über das Frontend dargestellt. Kernaspekte des Konzepts sind:

- Webbasierte Software als Frontend
- Über das Frontend erfolgt der Zugriff auf die Daten in der Digitalen Bauwerksakte.
- Über das Frontend können für jedes Bauwerk auch Metainformationen eingegeben werden, die zwar im Backend abgespeichert werden, aber keiner der Datenquellen der Digitalen Bauwerksakte zugeordnet sind.
- Mittels des Frontends werden die jeweils relevanten Informationen aus der Digitalen Bauwerksakte zur Umsetzung eines Anwendungsfalles angezeigt.

Zur Demonstration der entwickelten Konzepte wurden in Arbeitspaket 6 anhand eines realen Projektes die BIM-Anwendungsfälle implementiert. Dafür wird das Neubauprojekt BW 27/1 der A99 für die Implementierung des Datenmanagements in Planung und Bau gewählt.

Dabei wurde im Zuge der As-built-Modellerstellung bereits die Prüfung der Asplanned-Modelle mit einem Laserscan zur Erstellung der As-built-Geometrie sowie die Ergänzung der erforderlichen Informationen aus der Bauausführung durchgeführt. Für die Integration der Konzepte in das Projekt BW 27/1 wurde auf Grundlage der in den AIA ergänzten Attributtabelle die Attribuierung der BIM-Modelle sowie deren Prüfung durchgeführt. Weiterhin wurden die Dokumente auf Grundlage der entwickelten Konvention parametrisiert und regelbasiert mit den Daten verlinkt. Auf Grundlage der daraus erstellten Digitalen Bauwerksakte wurde für die Umsetzung der Anwendungsfälle eine softwarespezifische Demo erstellt. Die einzelnen Schritte sind in Bild 2-2 dargestellt.

Abschließend wird in Arbeitspaket 7 auf Grundlage der im Projekt untersuchten Technologien ein Ausblick auf künftige Trends und Entwicklungen gegeben, die für die Umsetzung von BIM im Erhaltungsmanagement relevant sein können.

Die Digitalisierung gehört zu den Treibern des gesellschaftlichen Wandels und beeinflusst auch die Baubranche wesentlich. Laut einer Studie von Roland Berger werden Trends wie Cloud-Computing, Big Data, Internet of Things, Künstliche Intelligenz, Blockchain, Virtual und Augmented Reality, Robotik, Sensorik oder Smart Buildings und Smart Cities auch maßgebenden Einfluss auf das Planen, Bauen und Betreiben der Bauwerke von morgen haben.

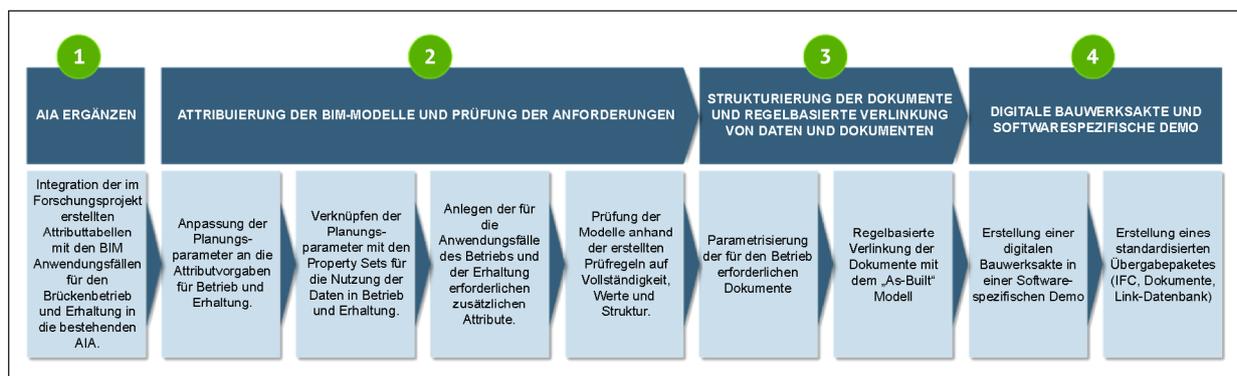


Bild 2-2: Implementierungsschritte zur Umsetzung der Forschungsergebnisse

2.3 Projektkonzept

Das Konzept für die Bearbeitung dieses Projektes war, wie in Bild 2-1 dargestellt eine Zuordnung der verschiedenen Datenquellen zum jeweiligen Datensatz. Diese Datensätze sind logisch miteinander zu verknüpfen, sodass die Informationen in der Auswertung kombiniert werden können.

Das Konzept für ein Bestandsmanagementsystems besteht aus den Hauptkomponenten Backend und Frontend:

- Backend

Im Backend werden alle relevanten Daten aus unterschiedlichen Quellen (z. B. SIB-Bauwerke, BIM-Modell) in geeigneten Einzelsystemen/Datensilos vorgehalten.

Das Backend ist Teil des Bestandsmanagementsystems und erfüllt mehrere Aufgaben. Zum einen verknüpft und kombiniert es die Daten aus den Einzelsystemen/Datensilos in Vorbereitung für die Ausgabe ins Frontend. Zum anderen kann es den Datentransfer zwischen den Einzelsystemen aus denen sich das Backend zusammensetzt, unterstützen.

- Frontend

Das Frontend ist im vorliegenden Konzept modular aufgebaut. Es ermöglicht eine zielgerichtete Ausgabe von Informationen aus dem Backend. Die Module orientieren sich inhaltlich an den konkreten Anforderungen des Users für den jeweiligen Anwendungsfall. So können Module mit gezieltem Informationsgehalt, hoher Übersichtlichkeit und Funktionalität und damit hoher Usability und Attraktivität für den User erschaffen werden.

Gleichzeitig ermöglicht das Frontend auch eine Anreicherung der Einzelsysteme/Datensilos des Backends. Das Gesamtsystem ist also bidirektional aufgebaut.

Bei den einzelnen Modulen des Frontends kann teilweise auf bereits bestehende Systeme aufgebaut werden. Beispielsweise verfügt SIB-Bauwerke bereits über entsprechende Funktionalitäten für die Ausgabe und Eingabe von Daten. Eine Optimierung der Nutzerfreundlichkeit oder auch eine Erweiterung der Funktionalitäten kann im Frontendbereich erfolgen, ohne die Datenbankstruktur im Backend anzupassen.

Für den Nutzer (des Frontends) muss auf den ersten Blick nicht erkenntlich sein, aus welcher Quelle die Daten stammen. IT-seitig empfehlen wir die Entwicklung eines (webbrowserbasierten) Programms als Frontend. Der Zugriff auf die Daten würde dann per Zugriff auf einen Backend-Server (ggf. auch als Cloud Lösung) erfolgen und eine Internetverbindung erfordern.

3 AP 1: Literaturrecherche

BIM wird sowohl international als auch im deutschsprachigen Raum momentan noch in erster Linie mit dem Schwerpunkt in den Bereichen Planen und Bauen betrachtet. Die Anwendung der BIM-Methode in der Betriebs- und Erhaltungsphase ist daher inhaltlich und technisch noch so weiterzuentwickeln, dass eine flächendeckende praktische Anwendung umgesetzt werden kann. Im Folgenden wird die Ausgangslage für die Anwendung der BIM-Methode in der Betriebs- und Erhaltungsphase dargestellt. Dabei wird ein Überblick über vergangene Entwicklungen aufgeführt und anschließend sowohl die aktuelle Situation als auch aktuelle Projekte, Ansätze und Entwicklungen in Deutschland und im internationalen Raum beschrieben.

3.1 Nationale und internationale Vorarbeiten

Erste Ansätze zur Nutzung von 3D-Brückenmodellen für die Unterstützung von Inspektionen und des Instandhaltungsmanagements wurden in verschiedenen Ländern bereits im Laufe der vergangenen 15 Jahre untersucht. Bereits in den 2000er Jahren wurden in verschiedenen Ländern die Möglichkeiten zur Nutzung von 3D-Brückenmodellen zur Unterstützung von Inspektionen und Instandhaltungsmanagement untersucht.

Zu den umfangreichsten Arbeiten in diesem Zusammenhang gehört (HAMMAD et al. 2006). Darin wird ein Software-Prototyp vorgestellt, der die Anzeige eines 3D-Brückenmodells auf Tablet-PCs für den Einsatz vor Ort erlaubt und es ermöglicht, Inspektionsergebnisse (Beschreibung von Schädigungen, Fotos etc.) mit diesem Modell zu verknüpfen. Die Autoren schreiben zur Motivation ihres Ansatzes: „Present methods of capturing location information using paper or digital maps, pictures, drawings and

textual description can lead to ambiguity and errors in interpreting the collected data.” Zudem wird die Anwendung des Konzepts der 4D-Bauwerksmodellierung vorgeschlagen, bei der in Abhängigkeit von der Zeit-Zustandsinformationen mit dem Modell verknüpft werden: Mobile Modelbased Bridge Lifecycle Management Systems (MMBLMSs) „should link all the information about the lifecycle of a bridge to a 4D model of the bridge incorporating different scales of space and time in order to record events throughout the lifecycle with suitable LoDs”. Daneben betonen die Entwickler die Wichtigkeit der Nutzung von herstellerneutralen Schnittstellen: „The interoperability of the MMBLMSs is of paramount importance because of the need to develop and use them by a large number of groups in a spatially and temporally distributed fashion. Standardization is important for facilitating data sharing and exchange between all the groups involved in bridge management at all the stages of the lifecycle.“ Grundsätzlich wird von den Autoren die Verwendung des IFC-Formats empfohlen. Allerdings stand zum damaligen Zeitpunkt nur eine sehr unausgereifte Variante von IFC-Bridge (der Standard wurde letztlich erst im Jahr 2019 veröffentlicht) zur Verfügung, sodass nur eine entsprechend eingeschränkte Nutzung möglich war.

Im Auftrag des Nebraska Department of Road (NDOR) wurde 2015 ein BIM-gestütztes Bridge Management System entwickelt: „Although existing bridge management systems are efficient at data storage, it is difficult to conduct comprehensive data analysis and management due to the lack of data integration mechanisms. Engineers have to manually put many pieces of bridge drawings and inspection data together to make maintenance or repair/rehab decisions. Building information modeling (BIM) can be applied in bridge asset management area, including bridge inspection/rating to help to integrate the many data pieces. In this project we developed a 3D bridge inspection data management system to integrate 3D visualization with bridge inspection and maintenance records for visualized data analysis and active data management.“ Sie führen weiter aus: „Bridge inspectors can take a lot out of the building industry’s shift towards BIM. The new bridge element inspection procedures by AASHTO provide an exciting opportunity to combine 3D modeling technology and the rating system to create a visualization tool for bridge inspectors.“ Als Basis für die 3D-Visualisierung dient das kommerzi-

elle System Trimble SketchUp. Die Verknüpfung mit Material- und Inspektionsinformationen einschließlich Schädigungsbeschreibungen und Fotos wurde jedoch nur vergleichsweise rudimentär umgesetzt.

In Deutschland wurden Forschung und Entwicklung im Bereich des modellgestützten Erhaltungsmanagements maßgeblich vom Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation der Technischen Universität München vorangetrieben. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Teilprojekt D „Lebensdauermanagement“ wurde der Prototyp eines 3D-gestützten Bauwerksmanagementsystems entwickelt (HEGGER et al. 2009; SCHIEßL et al. 2011; GÜNTNER und BORRMANN 2011; KLUTH et al. 2008).

Ziel des Gesamtsystems war die Nutzung probabilistischer Prognosemodelle zur Abschätzung des zukünftigen Verlaufs des Zustands des Brückenbauwerks auf Basis vorhandener Schädigungsinformationen. Im entwickelten System wurde eine Reihe von Funktionalitäten umgesetzt, darunter zur Erfassung eines Bauwerks (logische Bauwerksstruktur, Materialparameter), zur Erfassung des Zustands (Hinterlegen von Inspektionsdaten), zur Zustandsbewertung (bauteilbezogene Benotung) und zur Zustandsprognose. Dabei wurde eine hierarchische Untergliederung des Bauwerks in die Ebenen Bauwerk, Modul, Bauteil, Unterbauteil, Hot Spot vorgenommen. Für die Ermittlung des Zustands des Gesamtbauwerks wurden die Zustandsnoten über die verschiedenen Hierarchieebenen aggregiert. Dabei wurde in einer vereinfachten Annahme der Einfluss des Zustands einzelner Bauteile auf das Gesamtbauwerk durch den Anteil der exponierten Oberflächen modelliert.

Für den hier untersuchten Gegenstand des BIM-gestützten Erhaltungsmanagements ist insbesondere die konsequente Nutzung eines semantisch erweiterten 3D-Modells als Basis des Datenmanagements hervorzuheben. Konkret bedeutet das, dass die Bauwerksstruktur in einem logischen Aggregationsmodell abgebildet und jedes Bauteil mit einer 3D-Repräsentation versehen wurde. Die einzelnen geometrischen Körper konnten dann mit weiteren Informationen zu Materialien, Oberflächenschutzsystemen und Einwirkungen versehen werden. Dies entspricht weitestgehend einem BIM-gestützten Ansatz. Auch erste Untersuchungen zum Anheften von Fotos von Schädigungen an das 3D-Modell

wurden vorgenommen. Dies wurde in einem Studierendenprojekt „Mapping Digital Photographs onto 3D Geometric Models“ prototypisch untersucht (LUKAS 2011).

Im Projekt „3D-gestütztes Lebensdauermanagement für Brückenbauwerke“, das im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) von 2010 bis 2012 gefördert wurde, wurden vom Lehrstuhl CMS in Kooperation mit der Firma WPM Ingenieure die Konzepte des modellgestützten Erhaltungsmanagements weiter verfeinert, auf die Netzwerkebene erweitert und verschiedene Optimierungsansätze untersucht (LUKAS 2013).

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat im Rahmen des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“ eine Reihe von Forschungsprojekten durchgeführt. Für das hier besprochene Vorhaben besonders relevant sind die Projekte „Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse“ (BASt 2014a) sowie „Entwicklung eines Prototyps zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells“ (BASt 2014b). In beiden Projekten wurden die Verfahren zum Einsatz von digitalen Brückenmodellen für das Erhaltungsmanagement verfeinert und insbesondere um die Möglichkeit der Einbindung von Sensordaten sowie zur ganzheitlichen Bewertung des Bauwerkszustands (u. a. mit probabilistischen Methoden) erweitert.

Ein weiteres im Rahmen von „Intelligente Brücke“ durchgeführtes Projekt trug den Titel „Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags“ (BASt 2013). Im Verlauf des Forschungsprojekts hat sich herausgestellt, dass der Einsatz von RFID-Detektoren als Korrosionsfrühwarnsystem eine geeignete Methodik für die Optimierung der Brückenprüfungen darstellt. Die Verwendung von 3D-Modellen führte zudem dazu, dass Daten und Informationen leichter abrufbar und sehr viel schneller inhaltlich erfasst werden konnten.

Bislang wurden in Deutschland nur begrenzte Zielvorstellungen und Anforderungen für die Verwendung von BIM für Bestandsbrücken definiert. Der Mehrwert des Einsatzes von BIM zur Erhaltungsplanung wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie (SINGER und BORRMANN 2017) untersucht, die vom Lehrstuhl CMS für die BASt durchgeführt wurde. Dabei wurde ermittelt, dass die Anwendung von Prinzipien des Building Information Modeling eine

sehr gut geeignete Grundlage für das Erhaltungsmanagement von Brücken bildet, da die zugrundeliegenden digitalen Bauwerksmodelle sowohl die Datenerfassung der Inspektion als auch die darauf aufbauenden Prozesse der Zustandsbewertung (und ggf. -prognose) und der Instandsetzungsplanung unterstützen können. Sie bilden insbesondere eine sehr gute Basis für die dauerhafte Speicherung aller geometrischen und alphanumerischen Informationen zum Brückenbauwerk. Zusätzlich sind die bisher eingesetzten Systeme für die Zustandsbewertung (SIB-Bauwerke) nicht in der Lage, modellgestützte Informationen vorzuhalten und zu verarbeiten. Eine große Herausforderung besteht darin, dass für Bestandsbrücken in der Regel keine BIM-Modelle existieren, da diese Bauwerke auf Basis traditioneller Planungsmethoden geplant und erstellt wurden. Eine manuelle Nachmodellierung des sehr großen Brückenbestands muss als zu aufwendig eingeschätzt werden.

Es existieren jedoch im internationalen Forschungsumfeld eine Reihe von Ansätzen, die auf einer automatisierten Erfassung mithilfe von Laserscanning und/oder photogrammetrischen Verfahren beruhen (LUBOWIECKA et al. 2009; RIVEIRO et al. 2011; PHARES et al. 2004, TANG et al. 2007, 2010, 2011). Die Weiterverarbeitung der erzeugten Punktwolke zu einem semantisch hochwertigen As-built (wie gebaut)-Bauwerksmodell (TANG et al. 2010), das insbesondere für die Belange des Erhaltungsmanagements geeignet ist, ist bislang zwar eine noch nicht vollständige Forschungsfrage, wurde aber beispielsweise im Projekt SeeBridge – Semantic Enrichment Engine for Bridges ausführlich untersucht (SACKS et al. 2016, HÜTHWOHL et al. 2018). Ziel dieses Projekts war die Erfassung von Bestandbrücken durch räumliche und visuelle Rohdatenerfassung mit bestehenden schnellen und berührungslosen Vermessungstechnologien wie Laserscanning, Video, Photogrammetrie etc. Zusätzlich wurde ein Softwaretool zur Erkennung und Klassifizierung von Brückenobjekten zur automatisierten Zusammenstellung von solider 3D-Geometrie aus den Punktwolkendaten entwickelt.

Ähnliche Untersuchungen zur Bewertung des Zustands von Bestandsbrücken mithilfe von BIM wurden von McGUIRE et al. (2016) durchgeführt. In der vorgeschlagenen Methode verwendet ein Prüfer ein von den Autoren entwickeltes benutzerdefiniertes Software-Add-In, um Informationen über Art, Schwere und Ort des Schadens zu erfassen, die

während der Brückeninspektion gesammelt wurden und diese in einem BIM-Modell zu visualisieren.

Weiterhin wurden durch LU et al. Methoden zum Erzeugen von digitalen Zwillingen von Bestandbrücken auf Basis von Punktwolken untersucht (LU et al. 2019, LU und BRIALIKS 2019a, b). Die entwickelten Methoden wurden zwar für einzelne Brücken- und Bauteiltypen erfolgreich eingesetzt, stellen aber laut den Autoren noch keine Lösung dar, die generell für alle Brückentypen eingesetzt werden kann.

Ebenso ist die Ableitung von zur Zustandsbewertung und -prognose notwendigen Struktur- und Systemmodellen aus einem BIM-Modell noch ungeklärt (DORI et al. 2013). Ein alternativer Ansatz ist die Modellierung sogenannter Platzhaltermodelle, die zwar nicht exakt das reale Bauwerk abbilden, aber dennoch ausreichend genau für die Erfassung des Ist-Zustandes einer Brücke modelliert sind. Um dabei den Aufwand der Modellierung stark zu begrenzen, ist hier der Einsatz von parametrischer Modellierung unter Einsatz wissensbasierter Methoden Gegenstand von Untersuchungen (SINGER und BORRMANN 2015).

In Großbritannien wurde 2017 eine Studie durch die University of Salford zum Thema *Optimising Handover of as built Data from Highways England Major Schemes to Maintenance Service Providers* veröffentlicht. Hier werden zu Beginn wesentliche Probleme, die sich aus der unvollständigen Digitalisierung und mangelnder Standards ergeben, aufgeführt. Letztlich erkennen die Autoren aus verschiedenen Fallstudien und Interviews: „Aforementioned problems clearly indicate that Highways England needs to initiate a BIM based digital handover guide of different highways assets with respect to data requirements, data responsibility, level of detail and data formats. The formed guideline should hold a projectlife cycle view clearly defining the responsibilities of each project phase. BIM provides a systematic approach to collate design, construction and product specifications data in a single model. Numerous potential benefits can be offered by the effective information management.“ und „The initial findings suggest that, although there are some initiatives to BIM based handover islands within some specific projects, there should be systematic BIM guideline available for practitioners to adopt in their handover processes in the future. Initial requirements for this handover guide were determined as a detailed map of the asis handover process with res-

pective information flows and a comprehensive requirement analysis.“

In einer vom koreanischen Verkehrsministerium finanzierten Veröffentlichung wurde 2018 von DANG und SHIM beschrieben (DANG und SHIM 2018), wie ein Bridge Maintenance System auf Basis von BIM-Modellen entwickelt werden kann, das alle Aspekte der Instandhaltung berücksichtigt. Während die Umsetzung im Wesentlichen auf koreanische Belange abzielt, stellen die Autoren am Ende generell fest, dass die Definition eines (offenen) Datenschemas und die durchgängige digitale Informationserfassung wesentliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung sind.

In Deutschland wurde der Einsatz von Building Information Modeling im Infrastrukturbau in den letzten Jahren im Rahmen des BIM-Stufenplans anhand von BIM-Pilotprojekten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur untersucht. Dazu zählen verschiedene Brücken- und Tunnelbauprojekte. Ziel war es, anhand dieser Projekte die Potenziale der Digitalisierung und des Building Information Modeling in der Praxis zu erproben und die Resultate wissenschaftlich zu bewerten. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung lag dabei darauf, wie Zeit- und Kostenpläne von Großprojekten mithilfe digitaler Werkzeuge künftig besser eingehalten werden können. Die Thematik des Erhaltungsmanagements wurde allerdings in keinem der bislang gestarteten Pilotvorhaben adressiert und auch die Speicherung und Übergabe von Bestandsdaten wurde nur rudimentär untersucht.

Im Jahr 2019 wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur als Initiator und dem Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat der Aufbau und Betrieb des Nationalen BIM-Kompetenzzentrums des Bundes beauftragt. Ein wesentliches Arbeitspaket ist dabei die Entwicklung eines infrastrukturübergreifenden Konzepts zur Anwendung von BIM in der Betriebs- und Erhaltungsphase. Brückenbauwerke stellen dabei neben Straßen und Wasserstraßen einen wesentlichen Schwerpunkt der Konzeption dar. Aktuell wird mit Beteiligung des Lehrstuhls CMS das Feinkonzept für diese Aufgabe erarbeitet. Die Umsetzung soll nach aktueller Planung Anfang 2020 beginnen. Es wird unbedingt empfohlen, die Arbeiten im Rahmen des hier vorliegenden Projekts mit den Arbeiten des Kompetenzzentrums zu harmonisieren.

3.2 Fazit der Literaturrecherche

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass in den vergangenen 10 bis 15 Jahren im Rahmen verschiedener Projekte umfangreiche Untersuchungen zur Anwendung von BIM im Kontext der Planung, der Ausführung sowie des Betriebs und der Erhaltung von Brücken durchgeführt wurden. Auf wissenschaftlicher Seite wurde dabei untersucht, inwiefern eine automatisierte Generierung der BIM-Modelle von Bestandsbrücken durchgeführt werden kann, wie Schäden an Brückenbauwerken einerseits automatisiert aufgenommen und andererseits mithilfe von BIM-Anwendungen visualisiert und katalogisiert werden können. Zusätzlich haben sich mehrere Projekte mit der Konzeption eines generellen Vorgehens zur Nutzung von BIM im Erhaltungsmanagement beschäftigt und liefern wertvolle Erkenntnisse für die Umsetzung einer durchgängigen Methode in Deutschland. Auch die Veröffentlichung des IFC-Bridge Standards stellt dabei einen wesentlichen Fortschritt dar, der unbedingt in zukünftige Arbeiten integriert werden sollte. Es sind aber in jedem Fall weitere Untersuchungen notwendig, in denen Anwendungsfälle, Prozesse und Modellinhalte konzipiert und auf Basis bestehender Arbeitsabläufe, Normen und Richtlinien sowie den Strategien des Bundes als konkrete Umsetzungsstrategien definiert werden müssen.

4 AP 2: Ermittlung und Definition von Zielen und Anforderungen an BIM im Betrieb

BIM hat großen Einfluss auf die Verbesserung der drei Hauptelemente des lebenszyklusorientierten Projekt- und Bauwerksmanagements im Brückenbau: Qualität, Zeitplan und Kosten. BIM kann hier vor allem helfen, die notwendigen Informationen bereitzustellen. Ein erheblicher Faktor zur Effizienzsteigerung im Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken ist die Verfügbarkeit und Auswertbarkeit von Informationen, welche das Bauwerk beschreiben. Informationen, die in Form von Bauwerksinformationsmodellen, Datenbanken und Dokumentenmanagementsystemen verlinkt sind, helfen dabei, bessere Auswertungen durchzuführen und dadurch bessere und schnellere Entscheidungen treffen zu können.

Wichtig dabei ist es, dass ein Auftraggeber ein Bewusstsein dafür hat, welche Informationen in welcher Form und in welchem Format wann zur Verfügung stehen müssen. Im BIM Workflow werden diese Informationsanforderungen in den sogenannten Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) aufgeführt. Diese beschreiben die eindeutige inhaltliche und strukturelle Lieferleistung des Auftragnehmers in Bezug auf Datenumfang und Datenqualität. In Bild 4-1 sind die jeweiligen Stufen der Informationsanforderungen eines Baulastträgers dargestellt. Die Darstellung macht deutlich, dass es im Lebenszyklus eines Bauwerks entsprechend dem jeweiligen Zweck unterschiedliche Stufen der Informati-

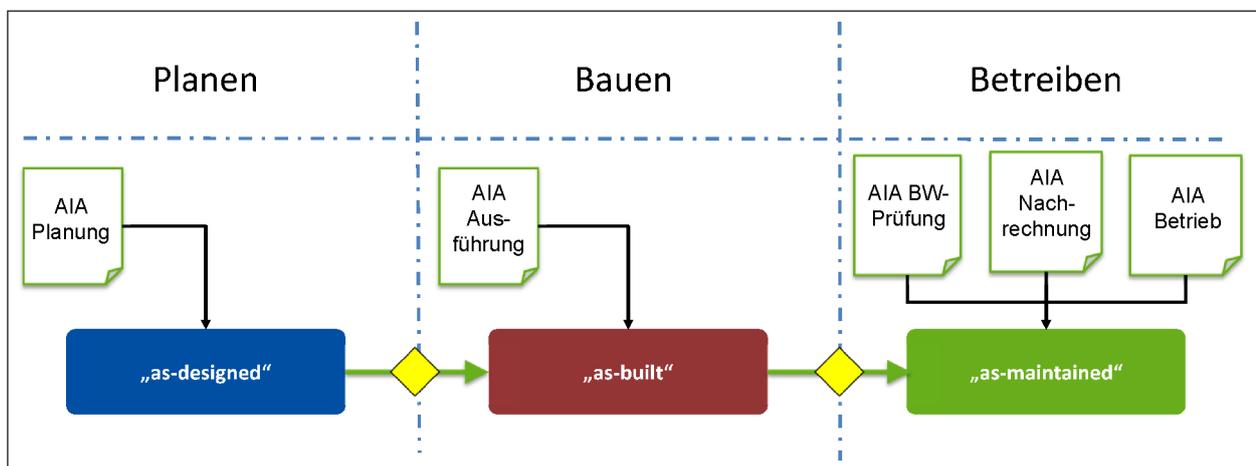


Bild 4-1: Auftraggeber Informationsanforderungen im Lebenszyklus

ansanforderungen gibt. Dafür wird es auch notwendig sein, verschiedene AIAs zu formulieren. Beispielsweise fokussieren sich AIAs, die bei der Ausschreibung der Planungsleistungen erstellt werden, auf die Informationen, die für Anwendungsfälle im Rahmen der Planung und der Ausschreibung erforderlich sind. Diese Anwendungsfälle werden in den vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur herausgegebenen und von der Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 verfassten Handreichungen und Leitfäden beschrieben.

Die Baulastträger stehen derzeit vor folgenden Herausforderungen, wenn sie ihre Bauwerke erhalten und erweitern:

- Eine aufwendige Bauprüfungs- und Berichtspflicht
- Eine wachsende Belastung für Verstärkung, Instandsetzung, Erweiterung und Ersatz
- Eingeschränkte Ressourcen für Instandsetzungs- und Bautätigkeiten
- Unsicherheit der Materialkosten aufgrund der erhöhten weltweiten Nachfrage bzw. aufgrund von knappen Ressourcen, insbesondere nach Stahl

Im Rahmen der Überwindung dieser Herausforderungen bietet die Verwendung von BIM für Brückenprojekte jedoch auch für die Betriebs- und Erhaltungsphase viele Vorteile. Diese Vorteile können basierend auf der BAST-Machbarkeitsstudie „BIM für Bestandsbrücken“, die vom Lehrstuhl CMS durchgeführt wurde, wie folgt zusammengefasst werden:

- Dauerhafte und zugängliche Bereitstellung von Informationen zum Bauwerk zum Zeitpunkt der Errichtung, u. a. Lokalisierung, Bauteilabmessungen, verwendete Materialien, statisches System etc.
- Verwendung des Modells während der Inspektion zur direkten Verortung von Inspektionsergebnissen einschließlich Schadensbeschreibungen, Photographien etc.
- Verwendung des Modells für die Zustandsbewertung und Instandsetzungsplanung
- Verwendung des Modells für die Prognose des weiteren Zustandsverlaufs
- Verwendung des Modells als Grundlage für die Planung von Ertüchtigungs-, Erneuerungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen
- Visualisierung der Schadenshistorie

Im Rahmen dieses Pakets wurden die Ziele und die Informationsanforderungen in der Betriebsphase formal erfasst und dokumentiert. Dabei stehen die Definition von Anwendungsfällen und die Erfassung der zur Umsetzung eines Anwendungsfalls erforderlichen Informationen im Fokus. Die betrachteten Anwendungsfälle sind in Bild 4-2 dargestellt.

Für die einzelnen Szenarien wurden jeweils Experten zu den jeweiligen Fachgebieten sowie Baulastträger zu den jeweiligen Informationsanforderungen (geometrisch, semantisch und Dokumente) befragt. Mit folgenden Fragen wurden die Informationsbedürfnisse analysiert:



Bild 4-2: Übersicht betrachtete Szenarien/Anwendungsfälle

- Welche Informationen werden üblicherweise für die Aufgabe benötigt?
- Wie werden die Informationen in der weiteren Bearbeitung genutzt?
- In welchem Format sollten die Informationen idealerweise vorhanden sein?
- In welchem Format sind die Informationen üblicherweise vorhanden?
- Welche Informationen sind i. d. R. aufwendig zu erfassen?
- Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissender Bauwerksprüfung nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF) (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017)
- DIN 1076 (Deutsches Institut für Normung, 1999)
- Handbuch für die Vergabe und Ausführung von freiberuflichen Leistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA F-StB) (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019)

Ziel des Arbeitspaketes ist, die erforderlichen Daten und Informationen im Status quo zu erfassen und so aufzubereiten, dass diese im Sinne des Informationslieferzyklus im BIM Workflow verarbeitet werden können. Auf Basis dieser Analyse wird ausgehend vom Betrieb des Bauwerks rückwärts im Projektverlauf identifiziert, wann die Information von wem erzeugt worden ist und wer diese Information im Lebenszyklus verändert.

Das Ergebnis ist eine Informationslieferkette. In einem nächsten Schritt werden die Informationen (geometrisch, semantisch, Dokumente) entsprechend des BIM Workflows in folgende Kategorien unterteilt:

1. Informationen, die am Modell verortet werden
2. Informationen/Dokumente, die mit dem Modell verlinkt werden
3. Informationen, die übergeordnet verortet werden sollen (Bauwerksdatenbank)

Die Informationen werden Informationskategorien zugeordnet, welche bei der Sortierung und Zuweisung eine Struktur vorgeben.

Als Grundlage für die Befragungen der Fachleute werden zudem gängige Richtlinien und Veröffentlichungen begutachtet:

- Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (ASB-ING) (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, 2013)
- Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken (BORRMANN und SINGER, Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken, 2016)
- Richtlinie für die Erhaltung von Ingenieurbauten (RI ERH ING) (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017)

Methodisch wird im Folgenden jeder Anwendungsfall kurz beschrieben und analysiert, welche Arbeitsschritte notwendig sind. Anschließend werden die Informationsanforderungen als Status quo für jeden Arbeitsschritt ausgewertet und in einem Information Delivery Manual (IDM) dargestellt. Die Informationsanforderungen für die konventionelle Bearbeitung der Anwendungsfälle werden anschließend vereinigt, sodass jede notwendige Information einem Anwendungsfall zugeordnet werden kann. Ausgehend vom Zeitpunkt, an dem die Daten verwendet werden, wird rückwärts analysiert, zu welchem Zeitpunkt eine Information entsteht und wer für diese verantwortlich ist. Auf diese Weise kann einfach gefiltert werden, welche Informationen potenziell aus einem As-built Modell (jenes Modell, welches bei der Bauwerksabnahme übergeben wird und den tatsächlich gebauten Zustand darstellt), einem as-maintained Modell (jenes Modell, welches durch Bauwerksprüfungen, Erweiterungen und Instandhaltungen ergänzt wird) oder aus einer Bauwerksdatenbank bzw. dem Dokumentenmanagementsystem kommen.

Informationen wie beispielsweise Baustoffe, die in der Planung entstehen, werden dann über das Modell für die Bauwerksdatenbank bereitgestellt.

4.1 Bauwerksdokumentation und Digitale Bauwerksakte

Dieser Anwendungsfall beschreibt die Dokumentation des Bauvorhabens für den Übergang in den Betrieb. Dabei soll aufgearbeitet werden, welche Dokumente und Daten üblicherweise am Ende einer Baumaßnahme in den Betrieb übergehen.

Im Anwendungsfall soll beschrieben werden:

- Welche Informationen müssen dokumentiert werden?

- Welche Datenbanken müssen gepflegt werden?
- Welche Informationen werden vom Bauunternehmen gefordert?

Es wird hier davon ausgegangen, dass ein Projekt in der Planung und Ausführung mit der BIM Methode entsprechend den BIM4INFRA-Empfehlungen durchgeführt wird. Dabei kommen die 20 durch BIM4INFRA definierten Anwendungsfälle² zum Einsatz.

Besonderes Augenmerk wird nach der Einschätzung der Befragten auf die Anwendungsfälle

- Bestandserfassung,
- Terminplanung der Ausführung,
- Logistikplanung,
- Baufortschrittskontrolle,
- Mängelmanagement und
- Bauwerksdokumentation

gelegt.

4.1.1 Informationsanforderungen aus Planung

In der Planungsphase werden die Anwendungsfälle

- Planungsvariantenuntersuchung,
- Visualisierung,
- Bemessung und Nachweisführung,
- Koordination der Fachgewerke,
- Fortschrittkontrolle der Planung,
- Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen,
- Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung,
- Kostenschätzung und Kostenberechnung

umgesetzt und dabei die Modelle der Entwurfs- und Ausführungsplanung erstellt.

Diese Modelle beinhalten geometrische und semantische Informationen. Die geometrischen Informationen können als Parameter und aus der modellierten Situation abgelesen bzw. ausgewertet werden. Die semantischen Informationen sind als Attribute direkt am Bauteil verortet und können in Form von Datenbanken ausgewertet werden. Das Bauteil ist dabei fest mit der Information verknüpft.

Die semantischen Informationen werden in der Planung für verschiedene Auswertungen (z. B. Mengen und Kosten) verwendet, aber sind ebenfalls Informationsträger für den Planungsinhalt. In der Entwurfsplanung beispielsweise erhalten die Bauteile der Brückenlager die Informationen als Attribut, welche auch in der Lagertabelle auf dem Plan dargestellt sind. Dabei wird die Lagertabelle redundanzfrei aus den Bauteilen und den jeweiligen Informationen abgeleitet.

Diese Informationen werden derzeit in erster Linie für die Erstellung der Planung angelegt und verwendet. Viele dieser Attribute jedoch sind auch wichtig für die Bestandsdokumentation. Daher ist es wichtig, zu identifizieren, welche Informationen, die in der Planung erstellt werden, später auch entsprechend der ASB-ING in SIB-Bauwerke notwendig sind. Ziel eines durchgängigen BIM Workflows ist es, die Attribute (z. B. Produkt- und Baustoffinformationen) aus dem Modell in SIB-Bauwerke zu migrieren. So soll sichergestellt werden, dass die Information nur einmal eingegeben werden muss und zudem redundanzfrei und damit verlässlich ist. Dieses Kapitel 4.1.1 soll darstellen, welche geometrischen und semantischen Informationen aus der Planung mit Modellen erstellt werden, die Teil der Bauwerksdokumentation werden müssen. Neben den modellbasierten Informationen wird dargestellt, welche zusätzlichen Informationen in Form von Dokumenten oder Datensätze hilfreich für die Nutzung im Erhaltungsmanagement sind.

Anwendungsfall 1: Bestandserfassung

In der Praxis ist es üblich, dass im Anwendungsfall Bestandserfassung sämtliche Erkenntnisse über den Bestand digitalisiert und in einem Gesamtmodell Umwelt und Bestand zusammengefasst werden. Dieses Gesamtmodell besteht aus folgenden Teilmodellen:

- Bestandsmodell Bauwerke & Strecken – Inkl. Lichtraumprofile, Bestandstrassierung, Kreuzungstrecken usw.

² Auf Basis der 20 von BIM4INFRA definierten BIM-Anwendungsfälle findet durch BIM Deutschland aktuell eine Harmonisierung (fachbereichsübergreifende Synopse) der Anwendungsfälle aus den Bereichen Hochbau und Infrastruktur statt.

zugehörigen Bauzustände in der Bauüberwachung fortzuschreiben bzw. zu dokumentieren (Fotodokumentation).

4.1.2 Informationsanforderungen aus Ausführung

Bei der Ausführung sollen die Modelle entsprechend der tatsächlichen Ausführung fortgeschrieben werden. Jedoch ist es für das Erhaltungsmanagement unerlässlich, den Bauablauf zu dokumentieren. In den Anwendungsfällen

- Baufortschrittskontrolle,
- Mängelmanagement und
- Bauwerksdokumentation

wird diese Dokumentation beschrieben. Ziel soll es sein, die wesentlichen Informationen in Form von Fotos oder auswertbaren Datensätzen für das Erhaltungsmanagement bereitzustellen.

Anwendungsfälle 15 und 18: Baufortschrittskontrolle und Mängelmanagement

Bei der Baufortschrittskontrolle sollen in der Terminplanung die Ist-Zustände der Fertigstellung in Be-

zug auf den terminlichen Soll-Zustand eingetragen werden. Durch die Verknüpfung des Terminplanes mit den Bauteilen aus den Fachmodellen Bauwerk, Erdbau, Baubehelfe und Verbau wird das 4D-Modell entsprechend des Ist-Zustandes aktualisiert (Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020, 2019).

Hinsichtlich der Dokumentation für das Erhaltungsmanagement ist es wichtig, den Baufortschritt zusätzlich durch Fotos vom jeweiligen Bauzustand mit dem Modell zu verlinken. So kann der Bauablauf eindeutig nachvollzogen werden. Darüber hinaus ist es notwendig, die geführten Bautagebücher so zu digitalisieren, dass diese ausgewertet und mit dem modellbasierten Bauablauf sowie den Fotos der Bauzustände verlinkt werden können.

Dazu ist es notwendig das Bautagebuch formularbasiert aufzubauen. Dadurch werden die Informationen (siehe Tabelle 1: Informationsanforderungen Bautagebuch) eindeutig und auswertbar erstellt. Bei den Befragungen ergaben sich daraus Vorteile, da Fotos, Arbeitsvorgänge, besondere Vorkommnisse in der Bauausführung und Wetterlagen ausgewertet werden können. Auswertungen sind beispielsweise die Filterung aller Fotos in einem bestimmten Zeitraum oder alle Fotos von Arbeiten der Art Betonage oder alle Tage mit einer Temperatur unter 5 °C, an denen betoniert wurde.

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Bautagebuch	Datum	Date	Datum des Eintrags	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Wetter	String	Wetter, kann Online auf Basis des Standortes abgefragt werden	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Temperatur	String	Lufttemperatur- kann Online auf Basis des Standortes abgefragt werden	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Art der Arbeit	Dropdown	Art der Arbeiten die durchgeführt worden sind. z. B. Erdarbeiten, Betonage, Bewehrungsarbeiten usw.	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Beschreibung der Arbeit	String	Beschreibung der Arbeiten die durchgeführt worden sind (Entsprechend der Eingabe der Art, z. B. BETONAGE(Art) – Fundamente Teilbauwerk 1)	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Anzahl der Arbeiter	Integer	Wie viele Personen waren auf der Baustelle	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Besondere Vorkommnisse	Dropdown	z. B. Ausführungsmängel	Bauoberleitung/ Bauüberwachung
Bautagebuch	Fotos	png	Fotos entsprechend Tagebucheintrag	Bauoberleitung/ Bauüberwachung

Tab. 4-1: Informationsanforderungen Bautagebuch

Zusätzlich ist es möglich, durch das Datenfeld Datum die Tagebucheinträge mit dem Bauablauf zu verknüpfen.

Die bei der Ausführung oder der ersten Hauptprüfung (H1 entsprechend DIN 1076 (Deutsches Institut für Normung, 1999)) gefundenen Mängel werden auf Grundlage der Bauwerksstruktur und der Elemente aus dem BIM Modell auf einer geeigneten Plattform erfasst und dokumentiert (Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020, 2019). Dabei sollen die Mängel mithilfe mobiler Endgeräte vor Ort erfasst und am Modell verortet werden. Fotos der Situation können dadurch direkt mit dem Mangel verlinkt werden.

Anwendungsfall 19: Bauwerksdokumentation

Bei der Bauwerksdokumentation geht es nicht nur um die Erstellung der As-built Modelle, sondern viel mehr um die Erstellung der Digitalen Bauwerksakte mit detaillierten Informationen zur Ausführung, der verwendeten Materialien und Produkten, Dokumenten wie Prüfprotokollen, Fotos und Datensätze zum Bautagebuch usw.

Ziel und Nutzen einer Digitalen Bauwerksakte sind zum einen die verbesserte Auffindbarkeit der Informationen, die bessere Übertragung und Weiterverarbeitbarkeit der Bauwerksdaten (zur Übergabe z. B. in SIB-Bauwerke), die Unterstützung im Bauwerksbetrieb (Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020, 2019) und zum anderen die bessere Auswertbarkeit auf Basis der Informationen.

Die Digitale Bauwerksakte besteht im Wesentlichen aus den drei Komponenten:

1. Geometrische Informationen aus den As-built Modellen inkl. GIS Daten

2. Semantische Informationen/Attribute aus der Bauwerksdatenbank

3. Dokumente

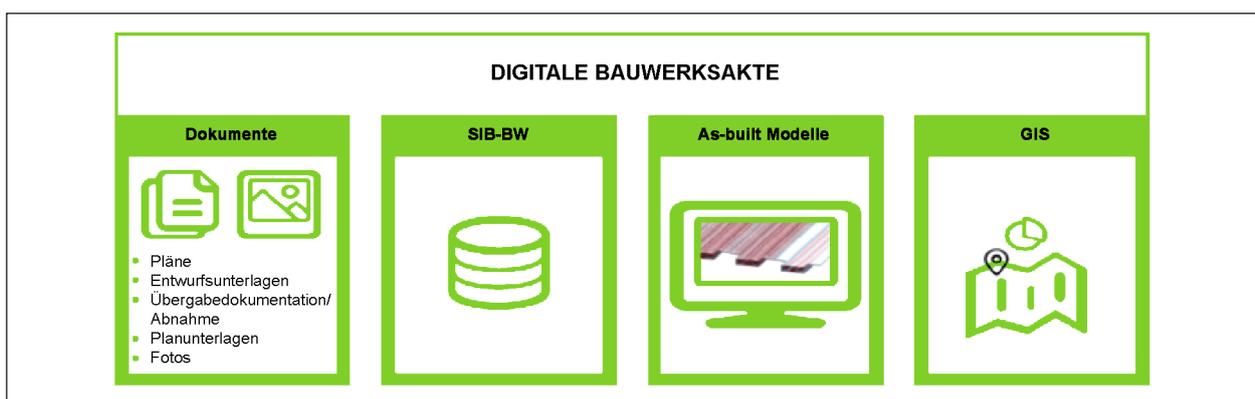
Für die Analyse und Beschreibung der erforderlichen As-built Informationen wurden verschiedene Hoch- und Infrastrukturbau BIM Experten aus Planung, Bau und Erhaltung befragt. Des Weiteren wurden die eigenen Erfahrungen aus BIM-Zielworkshops aus verschiedenen Projekten sowie veröffentlichte Standards von DEGES, Autobahndirektion Südbayern und Hessen Mobil herangezogen.

Im Allgemeinen ist immer zwischen Projektinformationen und Bauteilinformationen zu unterscheiden. Projektinformationen sind bauteilübergreifende Informationen, wie beispielsweise Lage- und Höhesystem, oder geometrische Kennwerte, wie die Brückenlänge oder die maximale lichte Höhe und Weite.

Semantische und geometrische As-built-Informationen

Die geometrischen Projektinformationen können teilweise nicht direkt aus den Bauteilen des Modells ausgewertet werden, da die Berechnung bestimmter geometrischer Informationen nach vereinfachten Vorgaben der ASB-ING erfolgt. Demnach wird die Länge einer Brücke, die aus mehreren Teilbauwerken besteht, über Formeln ermittelt (siehe Bild 4-5).

Die Anforderungen für die Projektinformationen haben im Modell kein Bauteil, mit dem sie direkt in Zusammenhang gebracht werden können. Deshalb kommt es in der Praxis gelegentlich vor, dass diese Informationen an ein Bauteil geschrieben werden, das den Projektbasispunkt markiert.



Tab. 4-2: Komponenten der Digitalen Bauwerksakte

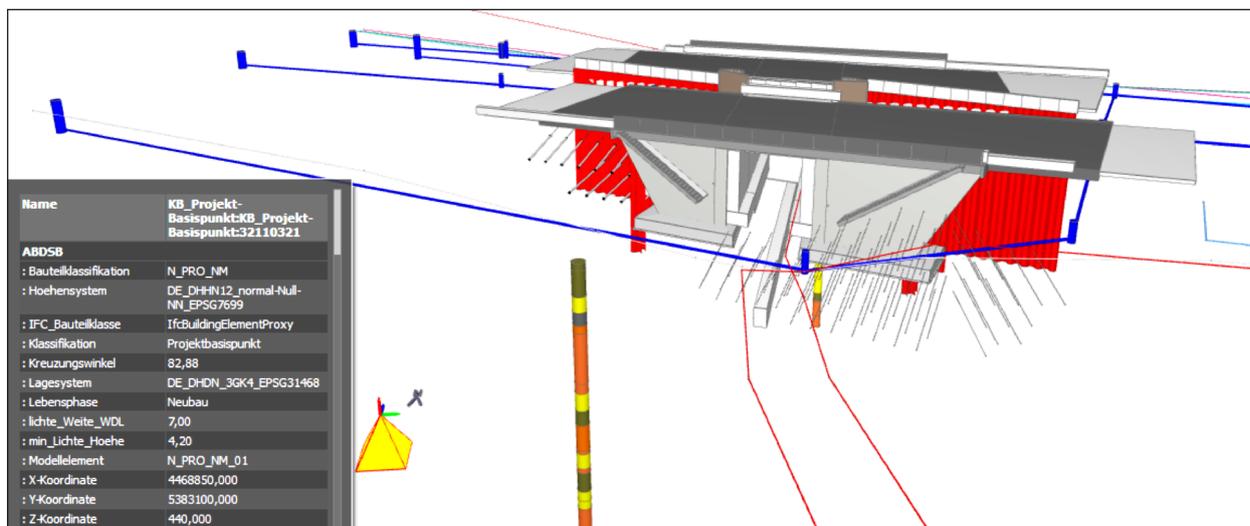


Bild 4-6: Beispiel Verortung der Projektinformationen am Projektbasispunkt

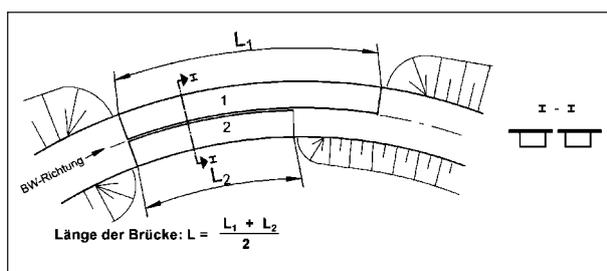


Bild 4-5: Beispiel geometrische Projektinformationen für Ermittlung der Brückenlänge nach ASB-ING

Bild 4-6 zeigt dieses Vorgehen beispielhaft in einem Projekt. Der Projektbasispunkt wird durch ein pyramidenförmiges Bauteil markiert und mit den geforderten Informationen attribuiert. In Bild 4-6 sind die Projektinformationen für Brückenbauwerke aus dem BIM Leitfaden der DEGES dargestellt (DEGES, 2019). Diese lehnen sich im Wesentlichen an die ASB-ING an, welche auch bei der Eingabe zu beachten ist. Das führt dazu, dass eine modellbasierte Ableitung des Wertes nicht immer zu empfehlen ist. Erkennbar ist das am Beispiel der Brückenfläche. Diese wird gemäß ASB-ING wie folgt definiert:

„Die Brückenfläche wird begrenzt von den Innenkanten der Geländer und von den Endauflagerlinien. Bei fehlendem Geländer bzw. fehlender Brüstung ist die Außenkante Gesims der Berechnung zugrunde zu legen. Bei überschütteten Bauwerken ist ersatzweise die Grundfläche des Bauwerkes anzugeben“

	Attribut	Datentyp	LOI
IfcPropertySet - Bauwerksinformation	Gesamtlänge	real	
	Breite	real	
	Gesamtbreite	real	
	Brueckenflaeche	real	
	Konstruktionshoehe	real	
	Konstruktionshoehe min	real	
	Konstruktionshoehe max	real	
	Anzahl Felder	integer	
	Anzahl Ueberbauten	integer	
	Anzahl Stege	integer	
	Laengsneigung max	real	
	Querneigung max	real	
	Kruemmung	real	
	Bauwerkwinkel	real	
	Winkelrichtung	real	
	Querschnitt Ueberbau	string	
	Querschnitt Haupttragwerk	string	
	Bauverfahren Ueberbau	string	
	Nachtraegliche Verstaerkung	string	
	Koppelfugen	string	
Ueberschuettingshoehe min	real		
Ueberschuettingshoehe max	real		
Lichte Hoehe	real		
Lichte Weite	real		
Baugrund	string		
Bemerkungen	string		
Bauteilgruppe	string		
LOG	integer		
LOI	integer		

Bild 4-7: Geometrische Projektinformationen DEGES, Auszug aus (DEGES, 2019)

Dieses Beispiel zeigt, dass diese geometrischen Attribute einfach aus dem Modell gemessen, aber nicht unbedingt ausgewertet werden können. Durch das Ausfüllen der Attribute entsteht ein manueller Aufwand.

- Datensätze des Bautagebuchs sind mit den jeweiligen Fotos verlinkt. Bei der Auswahl eines Ausführungszeitraumes (z. B. Januar 2019) werden sämtliche Fotos und Bautagebucheinträge dargestellt.
- Bauteile im Modell (z. B. Spannglieder) und Dokumente (z. B. Spann- und Verpressprotokolle, Zulassungsbescheide) sind verknüpft. Beim Auswählen des Spannglieds im Modell werden die zugehörigen Dokumente eingeblendet.

Der durch das Verlinken der Dokumente erzeugte Vorteil ist bei händischer Verknüpfung auch mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Daher wird empfohlen, Standarddokumente entsprechend Tabelle 2 auch standardisiert zu kodieren. Durch diese Kodierung können sich Dokumente und Bauteile

(mit standardisierter Attribuierung bzw. Kodierung) automatisiert verknüpfen. Dazu müssen Eigenschaften am Modell auch am Dokument vorhanden sein. Beispielsweise hat das Spannglied die Attribute Kategorie (hier Vorspannung) und den Typ (hier Spannglied). Das zugehörige Dokument (hier Spannprotokoll) hat ebenfalls die Eigenschaften Kategorie (Vorspannung) und Typ (Spannglied). Durch diese Gemeinsamkeit können sich Bauteil und Dokument über eine Abfrage (Query) finden.

Es empfiehlt sich daher, nicht jedes Dokument mit einem Bauteil zu verknüpfen, sondern in einem Projektverzeichnis der Digitalen Bauwerksakte beizufügen. In Tabelle 4-3 ist in der Spalte Verknüpfung jeweils angegeben, ob ein Dokument nur im Projektverzeichnis abgelegt wird oder auch mit einem Teil des Modells verknüpft wird.

Informationsgruppe	Dokumenten-kategorie	Dokumententyp	Dokumentennamen	Verknüpfung
Dokument	Entwurfsunterlagen	Planfeststellungsunterlagen	Vereinbarungen/Gestattungen nach DIN 1076	Projektverzeichnis
Dokument	Entwurfsunterlagen	Planfeststellungsunterlagen	Bauwerksspezifische Vereinbarungen	Projektverzeichnis
Dokument	Entwurfsunterlagen	Planfeststellungsunterlagen	Behördliche Genehmigungen und Urkunden	Projektverzeichnis
Dokument	Entwurfsunterlagen	Planfeststellungsunterlagen	Verträge mit Anliegern	Projektverzeichnis
Dokument	Entwurfsunterlagen	Planfeststellungsunterlagen	Einleitungsgenehmigung	Projektverzeichnis
Dokument	Entwurfsunterlagen	Planfeststellungsunterlagen	Kreuzungsvereinbarung	Projektverzeichnis
Dokument	Entwurfsunterlagen	Sonstiges	Baugrundgutachten	Baugrundmodell
Dokument	Entwurfsunterlagen	Sonstiges	Zustimmung im Einzelfall	entsprechendes Bauteil
Dokument	Übergabeinspektion/ Abnahme	Abnahmeniederschrift		Projektverzeichnis
Dokument	Übergabeinspektion/ Abnahme	Bauwerksbuch	Bauwerksbuch	Projektverzeichnis
Dokument	Übergabeinspektion/ Abnahme	Vermerk über Mängelbeseitigung		Mit dem Mangel (Bauteil und Eintrag in Bauwerksdatenbank)
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Planunterlagen	Übersichtslageplan	Projektverzeichnis
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Planunterlagen	Inhaltsverzeichnis aller Planunterlagen	Projektverzeichnis
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Planunterlagen	Stahllisten	Bewehrungsmodell
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Planunterlagen	Sanierungskonzepte	Projektverzeichnis

Tab. 4-3: Erforderliche Dokumente bei Bauwerksdokumentation nach (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019)

Informationsgruppe	Dokumentenkatgorie	Dokumententyp	Dokumentenname	Verknüpfung
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Planunterlagen	Bestandspläne	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Statische Berechnung	Zusammenstellung entspre- chend Teil 1 Abschnitt 2 der ZTV-ING (früher Heft 504)	Projektverzeichnis
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Statische Berechnung	Statik Bauwerk	Projektverzeichnis
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Statische Berechnung	Verformungsberechnung	Projektverzeichnis
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Statische Berechnung	Prüfberichte Prüfenieur	Projektverzeichnis
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Eignungsprüfungen Beton • Sortenverzeichnis • Betonzusammensetzung Erstprüfung • CDF-Prüfung Kappenbeton • Verpressmörtel Spannbeton	entsprechende Betonbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Eignungsprüfungen Asphalt • Deckschicht • Gussasphaltrinne	entsprechende Asphaltbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Eignungsprüfungen Abdichtung	entsprechende Abdichtungsbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Lager	Lager
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid ÜKO	ÜKO
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Spann- verfahren	Spannglieder
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Befestigungen	Befestigungsbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Gütenachweis Stahl	entsprechende Stahlbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Fugen- bänder	Fugenbänder
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Bordstein	Bordstein
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Geländer	Geländer
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Zulassungsbescheid Verguss- mörtel	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Güteüberwachungsnachweis Beton	entsprechende Betonbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Güteüberwachungsnachweis Stahlbeton	entsprechende Stahlbetonbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Güteüberwachungsnachweis Spannbeton	entsprechende Spannbetonbauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Einbauprotokoll Lager	Lager
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Einbauprotokoll ÜKO	ÜKO

Tab. 4-3: Fortsetzung

Informationsgruppe	Dokumentenategorie	Dokumententyp	Dokumentenname	Verknüpfung
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Schichtdickenmessung Korrosionsschutz	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Eignungsüberwachungs- nachweise <ul style="list-style-type: none"> • Nachbehandlungsdauer Stahl- beton • Einbaubedingung Abdichtung • Haftzugfestigkeit Betonunterlage • Verbrauchsnachweise Abdichtung • Rautiefenmessung Betonunter- lage • Abnahme Abdichtung Überbau nach ZTV-ING • Abstich Gussasphalt • Bohrprotokolle Bohrpfahlgrün- dung • Ausgleichsgradiente • Abnahme Schweißarbeiten • Messprogramm FTT • Verdichtungsnachweis Hinter- füllung 	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Abnahme Gründungssohle	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Abnahme Traggerüst	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Bewehrungsabnahme	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Betonierdichte	Jeweiliges Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Geprüfte Spannanweisung Spannbeton	Spannglied
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Spannprotokolle	Spannglied
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Messung Hydrophobierung	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Betondeckungsmessungen	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Baubegleitende Vermessungen	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Setzungsmessung	Messpunkt
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Freigabe Hinterfüllung	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Bedienungs-, Wartungs-, Instandsetzungsanweisung <ul style="list-style-type: none"> • Lager • ÜKO • Türen • Pumpen/Geräte 	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Bautagesberichte	Im Berichtszeitraum erstellte Bauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Terminplan Soll-Ist	Im Berichtszeitraum erstellte Bauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Baugeschichte	Im Berichtszeitraum erstellte Bauteile

Tab. 4-3: Fortsetzung

Informationsgruppe	Dokumentenkatgorie	Dokumententyp	Dokumentenname	Verknüpfung
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Fotodokumentation	Aufgenommene Bauteile
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Abweichungsberichte	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Rissprotokolle	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Haftzugprüfung bei Beton- arbeiten	entsprechendes Bauteil
Dokument	Planunterlagen Ing.-Bauwerke	Baustoff- und Bauteilprüfung	Sanierungsnachweise	entsprechendes Bauteil
Dokument	Schriftverkehr/ Dokumentation	Schriftverkehr	Mängelschreiben	Mangelobjekt
Dokument	Schriftverkehr/ Dokumentation	Schriftverkehr	Bedenkenanmeldung	entsprechendes Bauteil
Dokument	Schriftverkehr/ Dokumentation	Schriftverkehr	Freistellungserklärung Dritter	Projektverzeichnis
Dokument	Verschiedenes	Stahlbau	Qualitätsbescheinigung	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Bescheinigung Klasse E	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Schweißerliste	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Schweißzusatzstoffe	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Messprotokoll	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Prüfplan Schweißnähte	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Korrosionsschutzprotokoll	entsprechendes Bauteil
Dokument	Verschiedenes	Verschiedenes	Materialdokumentation	entsprechendes Bauteil

Tab. 4-3: Fortsetzung

4.2 Bauwerksprüfung

Zur Erfassung des Ist-Zustandes, der Gewährleistung der Sicherheit und der frühzeitigen Schadenserfassung werden Bauwerksuntersuchungen nach DIN 1076 durchgeführt. Bei den Bauwerksprüfungen werden die Bauwerke nach einem systematischen Verfahren geprüft und festgestellte Schäden nach den Kriterien Verkehrssicherheit, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit beurteilt. Durch diese ständige Überprüfung soll sichergestellt werden, dass das Bauwerk tragfähig bleibt und es werden außerdem Daten zum Zustand der Brücke gesammelt.

Die Bauwerksprüfung nach DIN 1076 wird von einem erfahrenen und speziell ausgebildeten Ingenieur durchgeführt. Die DIN (Deutsches Institut für Normung, 1999) regelt den Einsatz von Brückenprüfern: „Eine sorgfältige Überwachung und Prüfung der Bauwerke durch sachkundige Personen ist unerlässlich. Mit den Prüfungen ist ein sachkundiger Ingenieur zu beauftragen, der auch die statischen und konstruktiven Verhältnisse der Bauwerke

beurteilen kann.“ Besondere Anforderungen sowie langjährige Erfahrung in den Hauptprüfungen sind Kriterien für einen Brückenprüfer.

Die Norm DIN 1076 regelt die Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken auf Straßen und Wegen hinsichtlich ihrer Verkehrssicherheit, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit. Diese Norm ist unterteilt in:

- Jährliche Sichtprüfung
- Hauptprüfung, alle 6 Jahre
- Einfache Prüfung, immer 3 Jahre nach einer Hauptprüfung
- Prüfungen aus besonderem Anlass (Sonderprüfung), diese müssen nach beeinträchtigenden Ereignissen vorgenommen werden, wie z. B. Überflutung, Orkan, Anprall eines Lkws.
- Prüfung nach besonderen Vorschriften, vor allem der maschinellen und elektrischen Anlagen

Die Bauwerksprüfung wird von einem Prüfer durchgeführt, wobei die Schäden mittels eines Notebooks (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013) direkt am Bauwerk (oder wahlweise im Nachgang im Büro) erfasst werden. Die erfassten Schäden werden für die drei Aspekte Verkehrssicherheit, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit gemäß den Definitionen zur Schadensbewertung nach RI-EBW-PRÜF (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017) klassifiziert, benotet und unter der Anweisung Straßeninformationsbank verschlüsselt. Zur weiteren Standardisierung wurde ein umfangreicher Musterkatalog für typische Schäden und deren Bewertung festgelegt, der als Anhang zur neuen Version des RI-EBW-PRÜF und im Programmsystem SIB-Bauwerke zur

Verfügung steht. Zur Eingliederung der Bauwerksprüfung in eine BIM basierte Arbeitsweise werden diese Standardisierungen für eine objektbasierte Schadenserfassung genutzt.

Im Zusammenhang mit dieser Schadensbewertung ermittelt das Programmsystem SIB-Bauwerke unter Berücksichtigung aller Einzelschadensbeurteilungen sowie der Aspekte Schadensumfang und Anzahl der Einzelschäden die Zustandsnote des Teilbauwerks. Diese Berechnung basiert auf einem festgelegten Algorithmus (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013).

Die mögliche Zustandsnote ist gemäß Bild 4-9 definiert. Nach Beurteilung des Schadens kann der Prüfer Empfehlungen für die durchzuführenden Er-

NOTE	BESCHREIBUNG
1,0 – 1,4	sehr guter Bauwerkszustand Die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks sind gegeben. Laufende Unterhaltung erforderlich.
1,5 – 1,9	guter Bauwerkszustand Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann auf längere Sicht geringfügig beeinträchtigt sein. Laufende Unterhaltung erforderlich.
2,0 – 2,4	befriedigender Bauwerkszustand Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann auf längere Sicht geringfügig beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung , die langfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist möglich. Laufende Unterhaltung erforderlich. Mittelfristig Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich sein.
2,5 – 2,9	noch ausreichender Bauwerkszustand Die Standsicherheit des Bauwerks ist gegeben. Die Verkehrssicherheit kann beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes kann erheblich beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung , die mittelfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist zu erwarten. Laufende Unterhaltung erforderlich. Kurzfristig Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich sein.
3,0 – 3,4	kritischer Bauwerkszustand Die Standsicherheit des Bauwerks und/oder die Verkehrssicherheit sind beeinträchtigt. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes ist u. U. nicht mehr gegeben . Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehend Instandsetzung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können umgehend erforderlich sein.
3,5 – 4,0	ungenügender Bauwerkszustand Die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit sind erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben . Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes ist u. U. nicht mehr gegeben . Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind oder dass sich ein irreparabler Bauwerksverfall einstellt. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehend Instandsetzung bzw. Erneuerung erforderlich. Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können sofort erforderlich sein.

Bild 4-9: Zustandsnote nach RI-EBW-PRÜF. Quelle: (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017)

haltungsmaßnahmen abgeben, die dann im SIB-Bauwerke Prüfbericht zur weiteren Bewertung und Planung dokumentiert sind.

Nach Abschluss der Bauwerksprüfung werden die Mitarbeiter des Prüfteams mögliche Schadensursachen untersuchen und in kritischen Fällen umgehend geeignete Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer ergreifen. Dies kann Informationen an die zuständige Stelle, den zuständigen Straßenmeister oder im Falle eines erhöhten Sicherheitsrisikos Verkehrsbeschränkungen bzw. die sofortige Sperrung des Bauwerks umfassen. Kann der Zustand des Bauwerks aufgrund des aufgetretenen Schadensprofils nicht abschließend beurteilt werden, ist eine objektbezogene Schadensanalyse mit ergänzenden, i. d. R. zerstörungsfreien Prüfmethode durchzuführen.

Nach Abschluss der Bauwerksprüfung werden die Regeln für die notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen besprochen. Im Büro werden die Prüfungsdaten an das zentrale Computersystem (SIB-Bauwerke) übergeben und die Bauunterlagen (Bauwerksbuch) mit den neuesten Prüfungsergebnissen ergänzt. Mit der Vergabe der Zustandsnote gemäß dem RI-EBW-Prüf für das Bauwerk ist die Bauwerksprüfung erledigt (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017)

4.2.1 Prozessbeschreibung

Die Bauwerksprüfung gliedert sich in vier wesentliche Phasen:

1. Jahresplanung
2. Vorbereitung
3. Durchführung der Prüfung am Bauwerk
4. Dokumentation der Prüfung

Die Jahresplanung dient zur bauwerksübergreifenden Arbeitsvorbereitung. Dabei werden die Prüfintervalle der jeweiligen Bauwerke, die Art der Prüfung und die Reihenfolge der zu prüfenden Bauwerke betrachtet. Dabei spielen Kriterien wie erforderliche Besichtigungsgeräte, Prüfgeräte, Verkehrssperren und Zusatzqualifikation des Personals eine wichtige Rolle.

In Bild 4-10 sind die folgenden Schritte der Bauwerksprüfung dargestellt. Die Bauwerksprüfung beginnt mit der Vorbereitung der Prüfung durch das Studium aller relevanten Unterlagen und Daten zum Bauwerk. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Datenbank von SIB-Bauwerke, da dort sämtliche relevante Informationen zum Bauwerksbestand vorhanden sind bzw. sein sollten. Im Idealfall sind dort das Bauwerksbuch, die Bestands- und Ausführungspläne, die statische Berechnung, die Bautagebücher und die Baudokumentation sowie die bisherigen Prüfberichte zu finden. Gibt es spezielle Prüfanweisung oder bei besonderen Bauwerken oder Bauteilen ein Prüfhandbuch, ist dieses eben-

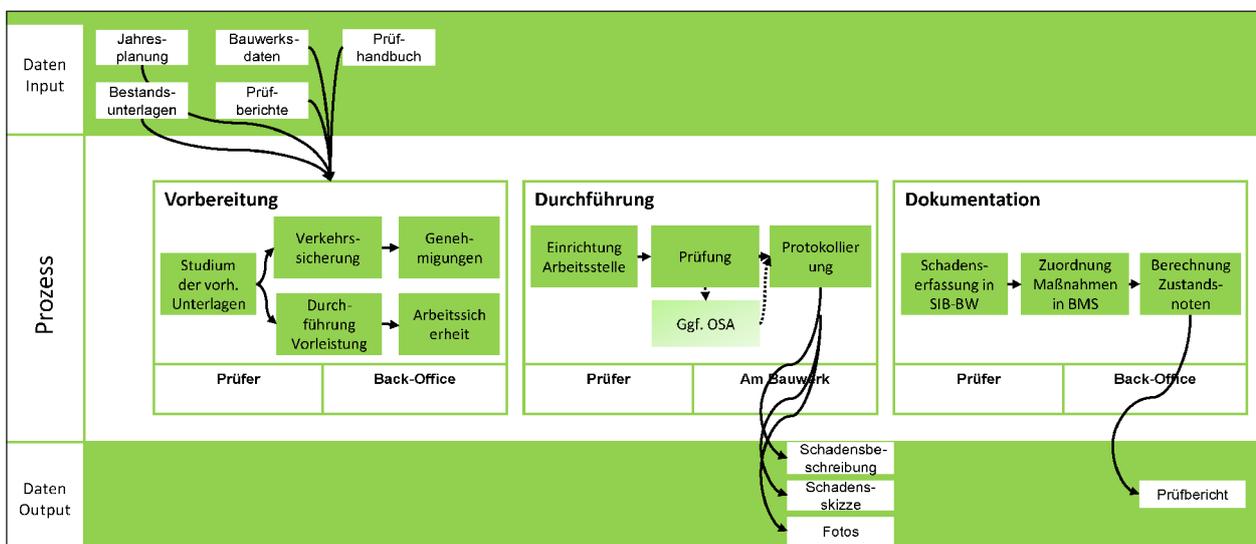


Bild 4-10: Prozessbeschreibung Bauwerksprüfung

falls im zugehörigen Dokumentenmanagement von SIB-BW zu finden.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse werden vorbereitende Maßnahmen, wie Planung der Verkehrssicherung, Einholen erforderlicher Genehmigungen (z. B. Deutsche Bahn), Planung der Arbeitssicherheit sowie Vorbereitungsmaßnahmen (z. B. Entfernung von Bewuchs), durchgeführt.

Nach der Einrichtung der Arbeitsstelle beginnt die eigentliche Durchführung der Bauwerksprüfung. Gemäß DIN 1076 (Deutsches Institut für Normung, 1999) wird das Bauwerk hinsichtlich der Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit systematisch untersucht. Für die Hauptprüfung schreibt die Norm in der Regel handnahe Untersuchungen aller Bauwerksteile vor. Dies geschieht üblicherweise durch Abklopfen und Sichtprüfungen. Die handnahe Prüfung wird bei besonderen Bauwerken, wie zum Beispiel Tunnelbauwerken, durch Technologien wie Laserscanning unterstützt. Dazu wird der Tunnel im Durchfahren gescannt und lediglich Auffälligkeiten werden direkt kontrolliert.

Der dritte Schritt, die Dokumentation und Auswertung, ist maßgeblich für die Entscheidung, welche Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Dieser Schritt hat auch den größten Einfluss auf den BIM basierten Workflow im Erhaltungsmanagement. Die datentechnische Erfassung von Schäden spielt eine wesentliche Rolle bei der Pflege der as-maintained-Modelle. Die Schäden sind ein wichtiger Indikator für die Maßnahmenplanung.

4.2.2 Informationsanforderungen

„Eine wirtschaftliche Prüfung, Überwachung, Erhaltung und Verwaltung des vorhandenen Bauwerksbestandes ist nur mit IT-Einsatz möglich.“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017). Die Integration der BIM Arbeitsweise ist eine technologische Weiterentwicklung der bestehenden IT-Infrastruktur durch Integration der Bauwerksmodelle. Diese Bauwerksmodelle liefern dieselben Informationen wie gewohnte Quellen wie SIB-Bauwerke, Bauwerksskizzen und Bestandsunterlagen. Der Unterschied liegt jedoch in der Struktur und Verfügbarkeit der Daten. Anhand eines mit den wesentlichen semantischen Informationen bestückten 3D-Modells kann die Situation bereits in der Vorbereitung zur Bauwerksprüfung sehr gut eingeschätzt

werden und hilft dabei entscheidend bei der Arbeitsvorbereitung. Des Weiteren können neuralgische Punkte, wie beispielsweise Koppelfugen, durch die Überlagerung von Bauwerks- und Bewehrungsmodell eindeutig bestimmt werden. Voraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit von den richtigen Informationen und die einfache Handhabung im Umgang mit den Bauwerksinformationsmodellen.

Bei der Bauwerksprüfung gibt es zum einen Informationsanforderungen vor der Durchführung der Prüfung und zum anderen erzeugen die Bauwerksprüfungen Daten, die in weiteren Anwendungsfällen wichtig sind. Vor der Bauwerksprüfung müssen die Bestandsdaten gesichtet werden, um zum einen die Prüfmaßnahme zu planen (Geräteeinsatz, Straßensperrungen usw.) und zum anderen, um bestehende Schäden zu kennen.

Die Bauwerksprüfung liefert wichtige Erkenntnisse über die Bauwerksentwicklung, die wiederum für alle anderen Anwendungsfälle als Grundlage vorhanden sein müssen. Daher ist die modellbasierte Erfassung von Schäden ein zentraler Baustein beim Bauwerksmanagement und bei der Auswertung von Netzstatistiken (siehe auch Kapitel 4.7), bei der die Schäden und die daraus folgenden Maßnahmen anhand von Strecken und Netzen geplant werden, um die Maßnahmen an mehreren Bauwerken zusammenzufassen.

Dazu wird im Folgenden analysiert, welche Daten bei der Bauwerksprüfung für weitere Anwendungsfälle im Bauwerksunterhalt benötigt werden. Dabei spielt die vernetzte Betrachtung von Schäden und Bauwerken eine entscheidende Rolle. In diesem Kapitel wird vorerst der Status quo der Informationsanforderungen und der Informationsgewinnung bei der Bauwerksprüfung analysiert. Diese Ergebnisse werden nach abgeschlossener Analyse der Informationsanforderungen aller Anwendungsfälle vernetzt, sodass sich der Einfluss der Datenqualität eines Anwendungsfalles wiederum auf die anderen darstellen lässt. Dafür werden neben der Information auch die Verfügbarkeit und das Datenformat der Information bewertet. Das spielt vor allem in der Effizienzsteigerung eine wichtige Rolle im Gesamtprozess. Der entscheidende Vorteil beim BIM basierten Bauwerksmanagement entsteht durch die Vernetzung von Bauwerksinformationen aus verschiedenen Quellen, die für den jeweiligen Zweck verlässlich und verarbeitbar zur Verfügung stehen.

Notwendige Grundlageninformationen

Wesentliche Grundlagen für die Bauwerksprüfung sind entsprechend DIN 1076 (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017):

- Bauwerksverzeichnis
- Bauwerksakte
- Bauwerksbuch
- Prüfhandbuch bei Bauwerken und Bauteilen mit konstruktiven Besonderheiten

Das Prüfhandbuch enthält gemäß RI-EBW-PRÜF (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017) bauwerkspezifische Festlegungen für die Bauwerksprüfung von Bauwerken mit beson-

deren Anforderungen. Der verantwortliche Ersteller des Prüfhandbuchs ist gemäß ZTV-ING (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2019) das ausführende Unternehmen und wird als Qualitätssicherungsmaßnahme im Rahmen des Qualitätsplans erstellt. Die semantischen Informationen für das Prüfhandbuch sind in Tabelle 4-4 dargestellt.

Ein wesentlicher Teil bei der Erfassung, Verwaltung und Auswertung der Bauwerksdaten erfolgt mit dem Datenbanksystem SIB-Bauwerke. Die Vorgabe der Datenstruktur und des Inhalts richtet sich nach der „Anweisung Straßeninformationsbank – Teilsystem Bauwerksdaten“ (ASB-ING) (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, 2013). Die Informationen sind entsprechend Kapitel 4.1 in Form semantischer Informationen und Dokumente verfügbar.

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Prüfmatrix	Lfd. Nummer	Integer		Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Personal	String	F = Fremdpersonal B = Bauwerksprüfingenieur	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfpflicht	String	Auswahl entsprechend ASB-ING	Prüfer/Bearbeiter
Prüfmatrix	Prüfanweisung	String	Freitext	Prüfer/Bearbeiter
Prüfmatrix	Zugangstechnik	String	Benötigte Geräte für die Zuegbarkeiten. Geräteart gemäß ASB-ING	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfumfang: lfd. Besichtigung	String	Was muss bei der jeweiligen Prüfung geprüft werden	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfumfang: Einfache Prüfung		Was muss bei der jeweiligen Prüfung geprüft werden	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfumfang: Hauptprüfung		Was muss bei der jeweiligen Prüfung geprüft werden	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfumfang: Erweiterte HP		Was muss bei der jeweiligen Prüfung geprüft werden	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfumfang: Fachspezifische OSA ¹		Was muss bei der jeweiligen Prüfung geprüft werden	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Tauchereinsatz	Bool	Ja/Nein	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfung elektrischer Einrichtung	Bool	Ja/Nein	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfung maschineller Einrichtungen	Bool	Ja/Nein	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Setzungsmessung	Bool	Ja/Nein	Ausführendes Unternehmen
Prüfmatrix	Prüfung des Lichtraum- profils	Bool	Ja/Nein	Ausführendes Unternehmen

¹ Objektbezogene Schadensanalyse gemäß RI-EBW-PRÜF (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017)

Tab. 4-4: Informationsanforderungen für Prüfhandbuch

Informationserstellung (Output)

Wie in Kapitel 4.2.1 Bauwerksprüfung beschrieben, werden bei der Dokumentation der Prüfung die Schäden und Mängel standardisiert in die Bauwerksdatenbank SIB-Bauwerke eingegeben. Die notwendigen semantischen Felder sind in Tabelle 4-6 dargestellt, die zugehörigen referenzierten Dokumente wie die Schadensskizzen oder Schadensbilder sind in Tabelle 4-6 dargestellt.

Informationen zur Bauwerksprüfung

Bild 4-11 zeigt den schematischen Aufbau der Bauwerksdatenbank. In den Zustandsdaten werden für jede Bauwerksprüfung Datensätze angelegt, die mit den Informationen aus Tabelle 4-5 beschrieben sind.

Jede Bauwerksprüfung ist ein Datensatz, der wiederum die Datensätze der einzelnen Schäden bündelt. Der Datensatz der Bauwerksprüfung ist durch die dargestellten Informationen beschrieben. Diese werden formularbasiert in die SIB-Bauwerksdatenbank eingegeben.

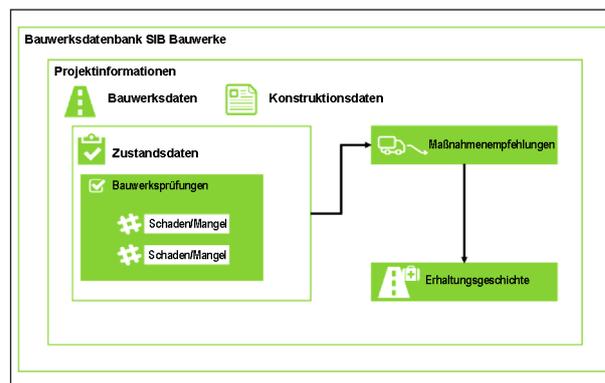


Bild 4-11: Schematischer Aufbau der Bauwerksdatenbank SIB-Bauwerke

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Bauwerksprüfung	Prüfjahr	Date	Jahr des Prüfungsbeginns	Prüfer
Bauwerksprüfung	Prüfart	Text	H1 = Hauptprüfung vor Abnahme H2 = Hauptprüfung vor Ablauf der Frist für Mängelansprüche H = Hauptprüfung E = Einfache Prüfung S1 – S9 = Sonderprüfungen	Prüfer
Bauwerksprüfung	Prüfrichtung	Text	Prüfrichtung = Bauwerksrichtung = Stationierungsrichtung	Prüfer
Bauwerksprüfung	Dienststelle, Prüfer	Text	Name Dienststelle und Prüfer	Prüfer
Bauwerksprüfung	Prüfungsbeginn	Date	Beginn der Prüfung, Datum	Prüfer
Bauwerksprüfung	Prüfungsabschluss	Date	Letzter Prüfungstag	Prüfer
Bauwerksprüfung	Maximale Schadensbewertung			Prüfer
Bauwerksprüfung	Datum nächste Hauptprüfung	Date		Prüfer
Bauwerksprüfung	Art der nächsten Hauptprüfung	Text		Prüfer
Bauwerksprüfung	Datum der nächsten Einfachen Prüfung	Date		Prüfer
Bauwerksprüfung	Datum der nächsten Sonderprüfung	Date	Siehe Kennzahlen bei der Schadensbewertung (Tab. 8)	Prüfer
Bauwerksprüfung	Basiszustandszahl (BZZ)	Integer	Siehe Kennzahlen bei der Schadensbewertung unten	Prüfer
Bauwerksprüfung	Zustandsnote der Bauteilgruppe	Integer	Siehe Kennzahlen bei der Schadensbewertung (Tab. 8)	Prüfer
Bauwerksprüfung	Zustandsnote des Teilbauwerks	Integer	Siehe Kennzahlen bei der Schadensbewertung (Tab. 8)	Prüfer
Bauwerksprüfung	Substanzkennzahl (Bauteilgruppe/Teilbauwerk)	Integer	Siehe Kennzahlen bei der Schadensbewertung (Tab. 8)	Prüfer
Bauwerksprüfung	Prüftext	Text		Prüfer

Tab. 4-5: Informationen zur Bauwerksprüfung

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Schaden/Mangel	Hauptbauteil	String	Betroffenes Hauptbauteil (z. B. Querträger, Widerlager, Stützwand)	Prüfer
Schaden/Mangel	Konstruktionsteil	String	z. B. Gründung, Vorspannung	Prüfer
Schaden/Mangel	Bauteilergänzung	String	z. B. Beton, Stahl, Bewehrung	Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensart	String	z. B. schadhaft, behindert, gerissen, verstopft oder Riss xx mm breit	Prüfer
Schaden/Mangel	Rissart	String	Wenn Schadensart Riss: • Oberflächennah • Trennriss	Prüfer
Schaden/Mangel	Menge allg.	String	z. B. flächendeckend, bereichsweise, vereinzelt	Prüfer
Schaden/Mangel	Bauwerkstemperatur Unterkante (Tu)	String	Bei bestimmten Schäden (z. B. Risse) an der Unterkante Überbau zu erfassen	Prüfer
Schaden/Mangel	Bauwerkstemperatur Steg (Ts)	String	Bei bestimmten Schäden (z. B. Risse) am Steg des Überbaus zu erfassen	Prüfer
Schaden/Mangel	Bauwerkstemperatur Unterkante Kragarm (To)	String	Bei bestimmten Schäden (z. B. Risse) an der Unterkante Kragarm zu erfassen	Prüfer
Schaden/Mangel	Wetterlage	String	Bei bestimmten Schäden (z. B. Risse) zu erfassen (Sonneneinstrahlung, Wolken, Wind)	Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensbewertung (S)	Integer	1-4	Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensbewertung (V)	Integer	1-4	Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensbewertung(D)	Integer	1-4	Prüfer
Schaden/Mangel	Notwendigkeit einer Kontrolle bei der einfachen Prüfung	Bool	Ja/Nein Wird bei der Hauptprüfung erzeugt	Prüfer
Schaden/Mangel	Schadenslänge	Integer		Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensdurchmesser	Integer		Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensfläche	Integer		Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensanzahl	Integer		Prüfer
Schaden/Mangel	Ortsangabe längs	String		Prüfer
Schaden/Mangel	Ortsangabe quer	String		Prüfer
Schaden/Mangel	Ortsangabe hoch	String		Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensveränderung	String		Prüfer
Schaden/Mangel	Bemerkungen	String		Prüfer
Schaden/Mangel	Maßnahmenempfehlung	String	Aus ASB-ING Maßnahmenliste	Prüfer/ Bearbeiter

Tab. 4-6: Informationsanforderung für Schäden und Mängel

Während der Bauwerksprüfung sind die in der Tabelle 4-6 aufgeführten semantischen Informationen zu erfassen. Zusätzlich sind den Schäden Schadensskizzen und Schadensbilder in Form von verlinkten Dokumenten zuzuordnen (siehe Tabelle 4-7). Dieser Schritt wird in der Praxis häufig analog und händisch durchgeführt. Zwar wird in „Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013) beschrieben, dass die Schadensaufnahme direkt mit-

tels Notebook durchgeführt wird, jedoch hat die Befragung ergeben, dass dies eher selten der Fall ist. Das Handling von Notebooks unter oft schwierigen Bedingungen vor Ort (Witterung, beengte Platzverhältnisse) sowie die Effizienz bei der Abwicklung einer Bauwerksprüfung (Einsatz von kostenintensiven Brückeninspektionsgeräten, Prüfungsteams aus i. d. R. zwei Personen) waren genannte Argumente gegen eine ausschließlich digitale Schadensaufnahme und -beschreibung vor Ort. Die

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Schaden/Mangel	Schadensskizzen	Linked Data	Skizzen von Lage und Ausmaß des Schadens	Prüfer
Schaden/Mangel	Schadensbilder	Linked Data	Bilder vom Schaden	Prüfer

Tab. 4-7: Informationen in Form von Dokumenten bei der Schadenserfassung

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Maßnahmenempfehlung	Art der Leistung	String	Entsprechend ASB-ING	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Menge	Integer	Einheit Abhängig je nach Maßnahme (z. B. Abdichtung in m ²)	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Geschätzte Kosten	Integer	Unterstützung durch Kostenkatalog	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Dringlichkeit	Dropdown	Umgehend, Kurzfristig, Mittelfristig, Langfristig	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Projektbezeichnung	String		Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Bemerkungen	String		Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Zugeordnete Schäden	Linked Data		Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Dauer der Maßnahme	Integer	Unterstützung durch Kostenkatalog	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Position	String	Oberseite, Unterseite	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Ausführungsjahr	Date	Empfohlener Baubeginn	Prüfer/Bearbeiter
Maßnahmenempfehlung	Maßnahmenfixierung	String		Prüfer/Bearbeiter

Tab. 4-8: Informationsanforderungen Maßnahmenempfehlung

Kennzahl	Informationsanforderung	Aussage der Kennzahl
Basiszustandszahl (BZZ)		
Zustandsnote der Bauteilgruppe	Einzelschadensbewertungen der Bauteilgruppen	Berechnet durch SIB-Bauwerke. Beschreibt die Schwere der Schädigung je Bauteilgruppe ¹
Zustandsnote des Teilbauwerks	Zustandsnoten der Bauteilgruppen	Berechnet durch SIB-Bauwerke. Beschreibt die Schwere der Schädigung je Teilbauwerk
Substanzkennzahl (Bauteilgruppe/Teilbauwerk)	Berechnung aus Zustandsnoten (Teilbauwerk/Bauteilgruppe) ohne Verkehrssicherheitsbewertung (V = 0)	Grundlage zur Bewertung des Anlagevermögens.

¹ Vgl. Bauteilgruppen gemäß ASB-ING (Überbau, Unterbau, Bauwerk, Vorspannung, Gründungen, Erd- und Felsanker, Lager, Fahrbahnübergänge, Abdichtungen, Beläge, Kappen, Schutz Einrichtungen, Sonstige)

Tab. 4-9: Kennzahlen bei der Schadensbewertung

Schäden werden daher meist handschriftlich erfasst, Fotos erstellt und die Fotonummer wird handschriftlich dem Schaden zugeordnet. Die abschließende Dokumentation wird dann im Büro direkt in SIB-BW überführt.

Im Unterschied zu den Informationen aus der Schadenserfassung werden die Kennzahlen aus bestehenden Datensätzen aus der Bauwerksprüfung berechnet. Dadurch haben diese Kennzahlen nur ei-

nen indirekten Bezug zur Informationslieferkette im Bauwerksmanagement.

Um eine Maßnahmenempfehlung durchführen zu können, sind die Informationsanforderungen gemäß Tabelle 4-8 zu erfassen.

Bei der Auswertung werden entsprechend der Schäden die Zustandsnoten je Bauteil, Teilbauwerk und Bauwerk ermittelt und daraus die in Tabelle 4-9 aufgeführten Kennzahlen errechnet.

4.2.3 Einfluss von BIM in der Bauwerksprüfung

Der Einfluss von BIM in der Bauwerksprüfung spiegelt sich zum einen in der Qualität der Grundlagendaten wider, da neben den Bestandsmodellen auch idealerweise der Bauablauf dargestellt ist. So können Schäden und Mängel besser bewertet werden. Beispielsweise sind bauablaufbedingte Öffnungen im Modell der Ausführung fortzuschreiben, sodass Schäden, die dadurch entstehen, besser bewertet werden können.

Bei der Erfassung der Schäden unterstützt BIM, wenn die Schäden objektorientiert direkt am Bauwerksmodell erfasst werden. Das Konzept aus (HAMMAD, ZHANG, HU & MOZAFFARI, 2006) sieht vor, dass ein Schaden als Bauteil (Marker) direkt am Bauteil verortet wird. Die in Tabelle 4-6 aufgeführten semantischen Informationen werden als Attribut den Schadensobjekten zugewiesen. Durch eine Schnittstelle zwischen diesem Schadensmodell und der Bauwerksdatenbank können diese Attribute synchronisiert werden. Bilder und Schadensskizzen werden als verlinktes Dokument mit dem Schadensobjekt verbunden, sodass alle Komponenten (Bauwerksdatenbank, Modell und Dokumente) miteinander verknüpft sind.

4.3 Nachrechnung

4.3.1 Beschreibung des Anwendungsfalles

Der erhebliche, immer noch andauernde Zuwachs des Straßengüterverkehrs stellt insbesondere für ältere Brücken eine Nutzungsänderung dar, die dazu führt, dass „für jede einzelne der betroffenen Brücken zu prüfen ist, ob sie den Anforderungen des heutigen und zukünftigen Schwerverkehrs noch genügt“ (COLDITZ 2012, FISCHER 2014). Seit Mai 2011 kann diese Prüfung unter Zugrundelegung der vom Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung veröffentlichten Nachrechnungsrichtlinie (= NR-Rili) erfolgen.

Die Einführung einer speziellen Richtlinie wurde als notwendig erachtet, da auf die Besonderheiten von Bestandsbauwerken unter Zugrundelegung aktueller Bemessungsnormen für Neubauten nicht in zufriedenstellendem Maße eingegangen werden kann (siehe z. B. MARZAHN 2010 und MARZAHN et al. 2013). Eine vereinheitlichte Vorgehensweise ist für die Vergleichbarkeit und Beurteilung von Nachrech-

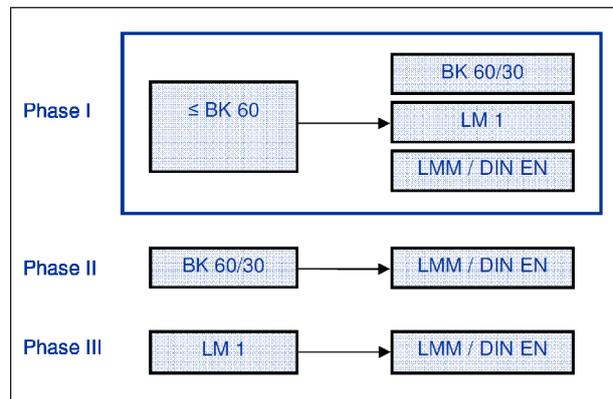


Bild 4-12: Mittel- und langfristige Strategie zur Ertüchtigung des Brückenbestandes (aus COLDITZ 2013 bzw. BMVBS, Referat StB 17)

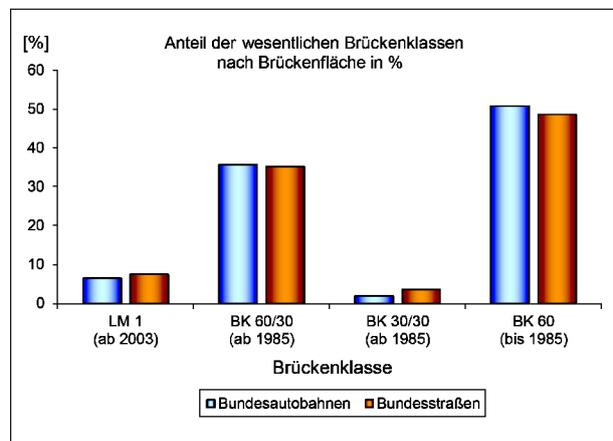


Bild 4-13: Anteil der Brückenklassen nach Verkehrslastmodellen in % bezogen auf die Brückenfläche des Bundesfernstraßennetzes aus (BMVBS 2013) (getrennt für Bundesautobahnen und Bundesstraßen)

nungsergebnissen wichtig. Der Ablauf einer Nachrechnung wird in Kapitel 4.3.2 beschrieben.

Für die Auswahl von vordringlich nachzurechnenden Brücken des Bundesfernstraßennetzes steht den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer eine von Seiten der BAST erstellte Liste mit ca. 2.200 Teilbauwerken zur Verfügung (Grundlage: KASCHNER 2009). Hinter der Priorisierung verbirgt sich eine mittel- und langfristig angelegte Strategie zur Ertüchtigung des Brückenbestandes, die sich in drei Phasen einteilen lässt (siehe Bild 4-12). Die Phase I konzentriert sich auf die Ertüchtigung von Brücken der Brückenklasse 60 und kleiner (Anteil dieser Brücken am Gesamtbestand: siehe Bild 4-13). Die Phasen II und III sehen mittel- und langfristig die Ertüchtigung des Brückenbestandes auf das Lastniveau „LMM“ vor.

4.3.2 Prozessbeschreibung

Das prinzipielle Vorgehen im Rahmen einer Nachrechnung und die Zuständigkeiten gehen aus dem Diagramm in Bild 4-14 hervor.

Bild 4-15 zeigt den Ablauf einer Brückennachrechnung nach dem vierstufigen Verfahren der Nachrechnungsrichtlinie.

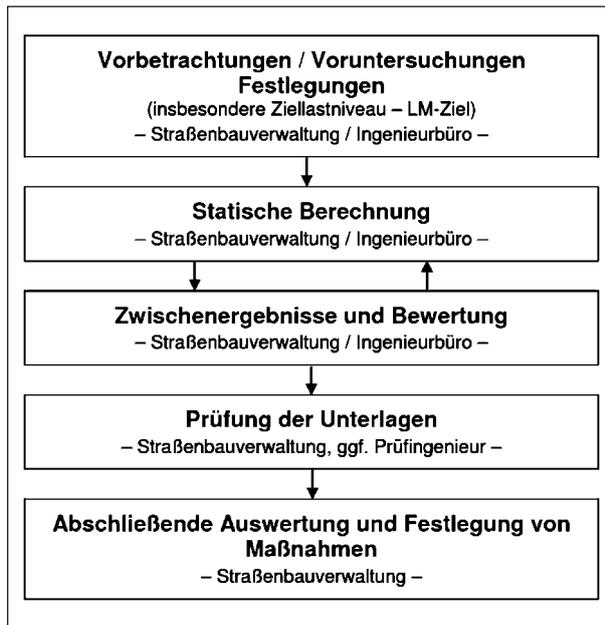


Bild 4-14: Ablaufdiagramm zur Nachrechnung (Nachrechnungsrichtlinie 05/2011)

Das Ziellastniveau wird in der Regel von der zuständigen Straßenbauverwaltung festgelegt. Es richtet sich zum einen nach der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke der Fahrzeugarten des Schwerverkehrs (DTV-SV) und zum anderen nach der Verkehrsart. Für Brücken des Bundesfernstraßennetzes mit zwei oder mehr Fahrstreifen je Fahrtrichtung ist in der Regel das Lastmodell „LM1“ nach DIN-Fachbericht 101 (2009-03) anzusetzen. In besonderen Fällen sind auch objektspezifische Lastmodelle möglich.

Als Grundlage für die statische Berechnung dienen die Bestandsunterlagen, z. B. Schal- und Bewehrungspläne. Im Idealfall handelt es sich um die geprüften Ausführungspläne. Insbesondere bei Spannbetonbrücken werden zusätzliche Informationen zum Bauablauf und zur Vorspannung von Spanngliedern (z. B. Spannprotokolle) benötigt. Bei Nachrechnungen wird in der Regel vom planmäßig vorhandenen Zustand ausgegangen (Beispiel für eine häufige Annahme: Die planmäßig vorhandene Bewehrung wurde planmäßig eingebaut). Es ist vorgesehen, dass sich der bewertende Ingenieur vor Ort einen Überblick über den allgemeinen Bauwerkszustand verschafft (vgl. NR-Ril, Abschnitt 5 (2)) und der aktuelle Bauwerkszustand mitberücksichtigt wird (vgl. NR-Ril, Abschnitt 6.2).

In Stufe 1 erfolgt die Nachweisführung wie für einen Brückenneubau, d. h. unter Zugrundelegung der

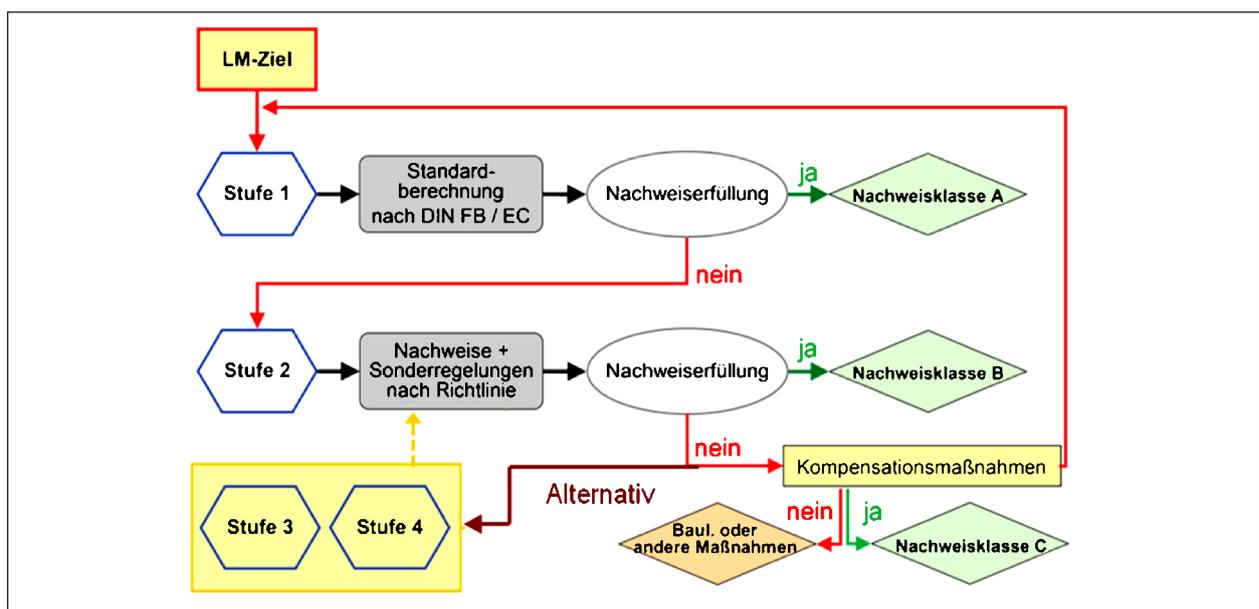


Bild 4-15: Ablaufschema Brückennachrechnung in Anlehnung an (MARZAHN et al. 2013)

aktuellen Bemessungsregeln für Neubauten (vgl. Nachrechnungsrichtlinie 05/2011, Abschnitt 4.2). Falls in Stufe 1 alle Nachweise erfolgreich erbracht werden können, kann das nachgerechnete Bauwerk in die Nachweisklasse A eingestuft werden. Ist dies nicht der Fall, können die in der Nachrechnungsrichtlinie vorgesehenen, speziellen Regelungen für die Nachweistufe 2 herangezogen werden.

Je nachdem, welche Stellschrauben bzw. Stellschrauben-Kombinationen bei der erfolgreichen Nachweisführung herangezogen werden, kann eine Einstufung der Brücke in Nachweisklasse B oder C erfolgen.

Falls in Stufe 2 nicht alle Nachweise erbracht werden können, besteht in Abstimmung mit den zuständigen Behörden die Möglichkeit, in Stufe 3 und 4 ergänzende Nachweise zu führen, z. B. unter Verwendung wissenschaftlicher Nachweismethoden (Stufe 4). Folgende Maßnahmen sind möglich, wenn Nachweise (auch in Stufe 3 und 4) für das ursprüngliche Ziellastniveau nicht eingehalten werden können:

- Verschärfte Prüfanweisungen für die Bauwerksprüfung
- Verkehrliche Kompensationsmaßnahmen (gemäß Anlage 1 der NR-Ril: z. B. Lkw-Überholverbot, kein genehmigungspflichtiger Schwerverkehr mit Dauererlaubnis, Lkw-Gewichtsbeschränkung, Sperrung und/oder Einengung von Fahrstreifen etc.)
- Ertüchtigung
- Ersatzneubau

Die Dokumentation der Nachrechnung erfolgt z. B. nach der in Kapitel 7.2 der NR-Ril angegebenen Gliederung. Sie beinhaltet Ergebnistabellen, in denen wesentliche Ergebnisse zusammengefasst sind (vgl. Anlage 2 der NR-Ril). Diese werden dem Bauwerksbuch beigelegt (evtl. auch spezielle Tabellen zusätzlich oder alternativ zur ausgefüllten Anlage 2 der NR-Ril).

4.3.3 Informationsanforderungen

Notwendige Grundlageninformationen

Grundlage für die Nachrechnung ist eine vorhergehende Bewertung des Bauwerkszustandes (MARZAHN, 2013). Dazu gehört neben der visuellen Prü-

fung des Bauwerks die Sichtung und Prüfung sowie die Plausibilitätskontrolle der Bestandsunterlagen.

Wichtige Bestandsunterlagen für die Nachrechnung sind:

- Bauwerksdaten, Bauwerksakte und das Bauwerksbuch
- Geprüfte Ausführungs- und Bestandspläne
- Ursprüngliche statische Berechnung
- Spannprotokolle (bei Spannbetontragwerken)
- Gutachten und Unterlagen zu weiteren Untersuchungen (z. B. OSA)
- Ggf. Ausführungsunterlagen von Instandsetzungen, Verstärkungen und baulichen Veränderungen

Die Daten werden für die Bearbeitung üblicherweise in Papierform oder im pdf-Format zur Verfügung gestellt. Eine weitere Datenquelle stellt mit dem Bauwerksbuch und den zugehörigen Bauwerksprüfberichten SIB-Bauwerke dar. Eine durchgehende digitale Struktur der für diesen Anwendungsfall erforderlichen Informationen liegt nicht vor.

Eine weitere Herausforderung stellt zudem häufig die Unvollständigkeit dieser Informationen dar. Wenn wichtige Informationen, wie z. B. Ausführungspläne, fehlen, kann dies maßgeblichen Einfluss auf die Aussagekraft und Qualität der rechnerischen Bewertung haben.

Informationserstellung (Output)

Als Grundlage für die statischen Nachweise dient in der Regel ein Rechenmodell, welches mit einer Statik- und Bewehrungs-Software unter Berücksichtigung der Ausführungspläne in Verbindung mit der ursprünglichen statischen Berechnung erstellt wird. Die Rechenmodelle enthalten Idealisierungen und Vereinfachungen. Im Unterschied zu Ausführungsplanungen für Neubauwerke sind u. a. die Bauteildimensionen und die Bewehrungsmengen oder Blechdicken vorgegeben. Auf Basis dieser Vorgaben können nachweisbezogene Ausnutzungsgrade ermittelt werden.

Ebenso wie die Eingangsinformationen folgt auch die Dokumentation der Ergebnisse von Nachrechnungen keiner durchgehenden digitalen Struktur. Ergebnisse werden zusammenfassend in Muster-

vorlagen dokumentiert und meist als PDF bereitgestellt. Darüber hinaus wird das Statik-Dokument als PDF dokumentiert.

4.3.4 Einfluss von BIM auf den Anwendungsfall Nachrechnung

Im Rahmen von Nachrechnungen müssen u. a. statische Informationen (z. B. Statikdokumente, Zulassungen), konstruktive Informationen (z. B. Ausführungsmodelle/Ausführungspläne), Einbauinformationen (z. B. Temperatur zum Zeitpunkt der Fahrbahnübergangskonstruktion), Baugrundinformationen (z. B. Bodenschichtenmodell in den Gründungsachsen), Informationen zu erfolgten Instandsetzungs- und Umbaumaßnahmen (z. B. Kappenverbreiterung) und Informationen zum aktuellen Bauwerkszustand (z. B. Bauwerksprüfungen, Monitoringdaten) vernetzt betrachtet werden.

BIM bietet hierfür erhebliche Potenziale, da in einer entsprechend strukturierten Digitalen Bauwerksakte die erforderlichen Informationen in weitestgehend objektorientierter Form vorliegen und so optimal kombiniert und verknüpft werden können. Beispielsweise können die Spanngliedführung und Rissbilder überlagert betrachtet werden, um so deren Einfluss auf die Berechnung bzw. auf die Bewertung der Dauerhaftigkeit und Standsicherheit besser beurteilen zu können oder Berechnungsergebnisse besser validieren zu können. Zudem kann BIM über eine strukturierte Datenablage einen Beitrag zur nachhaltigen und vollständigen Dokumentation von Daten leisten.

4.4 Schwertransporte

4.4.1 Beschreibung des Anwendungsfalles

Der Straßenverkehr in Deutschland und Europa hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen und die tatsächlichen Verkehrsprognosen lassen eine Fortsetzung dieses Trends erwarten. Mit der Anwendung des neuen Lastmodells 1 des Eurocodes 1 wird der erwartete zukünftige Schwerlastverkehr für die Konstruktion neuer Brücken als angemessen angesehen.

Die im Straßennetz vorhandenen Ingenieurbauwerke wurden nach den zum Zeitpunkt ihrer Errichtung geltenden Normen und Vorschriften errichtet. Bis zur Einführung des Eurocodes 1 wurden für Brü-

cken des Bundes das Lastmodell 1 des DIN-Fachberichtes 101 (2003), davor das Lastmodell BK60/30 der DIN 1072 (12-1985) und vor 1985 das Lastmodell BK60 der DIN 1072 (06-1967) verwendet. Für Ingenieurbauwerke im verkehrsberuhigten Straßennetz wurde das Lastmodell BK30/30 der DIN 1072 (12-1985) oder das Lastmodell BK30 der DIN 1072 (06-1967) verwendet. Darüber hinaus können Infrastrukturbauwerke, die vor 1985 gebaut wurden, systematische Schwachstellen aufgrund der angewandten Normen und Vorschriften für die Gestaltung dieser Konstruktionen aufweisen (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012).

Bisherige Forschungsergebnisse zeigen, dass die Abdeckung der zu erwartenden zukünftigen Auswirkungen des Schwerlastverkehrs unter Anwendung der Lastmodelle älterer Generationen der Normen und Vorschriften begrenzt ist. Das Defizit der Lastannahmen und die für die Bauwerke geltenden Vorschriften macht eine Überprüfung der Tragfähigkeit der Tragwerke erforderlich. Bei Mängeln sind Nachrüstmaßnahmen erforderlich. Angesichts der quantitativen Ausdehnung dieser Strukturen im deutschen Straßennetz sind in kurzer Zeit weder Sanierungsmaßnahmen noch Neubauten möglich (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012).

Es muss ermittelt werden, unter welchen Bedingungen die Auswirkungen des tatsächlichen Straßenverkehrs von den Lastmodellen älterer Normengenerationen abgedeckt werden. Daher werden zum einen unterschiedliche Verkehrsmengen und Verkehrszusammensetzungen berücksichtigt. Weiterhin wird untersucht, wie sich Annahmen für eine verkürzte Restnutzungsdauer auf die Ergebnisse auswirken. Für das Bundesstraßennetz wird differenziert nach Verkehrsaufkommen ermittelt. Damit wird festgelegt, für welches Lastmodell (LM 1, BK 60/30, BK 60) welche zusätzlichen Ausgleichsmaßnahmen erforderlich sind, um auch die Auswirkungen des tatsächlichen Straßenverkehrs abzude-

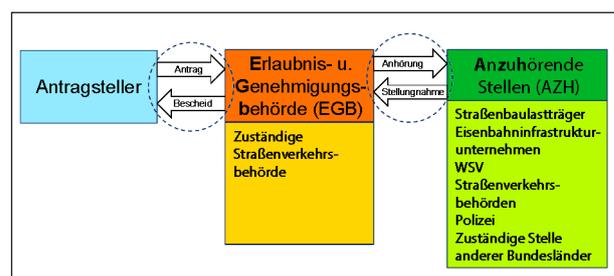


Bild 4-16: Aktueller Verfahrensablauf des Genehmigungsverfahrens (Quelle: BAUMBERGER, 2019)

cken. Bei den untersuchten Ausgleichsmaßnahmen handelt es sich um eine Vorschrift für einen Mindestabstand von Fahrzeugen im fließenden Verkehr, eine Vorschrift für das Nichtüberholen von Lastkraftwagen und eine Beschränkung von zugelassenen Lastkraftwagen ohne Streckenbeschränkung oder eine ständige Genehmigung (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012).

Richtlinien für die Berechnung von Straßenbrücken im Bestand für Schwertransporte stehen unter www.bast.de (Brücken- und Ingenieurbau/Publikationen/Regelwerke Brücken- und Ingenieurbau/BEM-ING Teil 3). Ziele dieser Richtlinien sind:

- Festlegung eines bundesweit einheitlichen Vorgehens im Rahmen der Anhörung bei der Bearbeitung von Anträgen zur Erteilung von Erlaubnissen für Schwertransporte im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus
- Transparenz der Stellungnahmen der Straßenbauverwaltungen
- Gleichbehandlung der Transportunternehmen

Die Auswirkungen eines Schwertransportes auf ein Bauwerk sind gemäß BEM-ING/Teil3-Abschnitt2 (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016) statisch auszuwerten. Dabei wird davon ausgegangen, dass:

- sich Schwertransporte auf Brücken mit einteiligen Überbauten, die im Gegenverkehr befahren werden, nicht auf dem Bauwerk begegnen,
- sich kein zweiter Schwertransport auf der Brücke befindet.

Berechnungsstufen

Bei der Berechnung von Brücken für Schwertransporte ist ein dreistufiges Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung aktueller Regelwerke und Verkehrsbeanspruchungen vorgesehen (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016).

- Berechnungsstufe I: Die Berechnung ist ein Vergleich der Schnittgrößen aus den der jeweiligen maßgebenden Brückenklasse zugeordneten Verkehrsbelastungen mit den Schnittgrößen aus den zugehörigen Lastbildern für Schwertransporte, wobei die Schnittgrößen automatisiert mit vereinfachten, auf der sicheren Seite liegenden Annahmen zum statischen System,

zur Querverteilung und Verkehrslast ermittelt werden.

- Berechnungsstufe II: Die Berechnung ist ebenfalls ein Vergleich der Schnittgrößen aus den der jeweiligen maßgebenden Brückenklasse zugeordneten Verkehrsbelastungen mit den Schnittgrößen aus den zugehörigen Lastbildern für Schwertransporte, wobei jedoch die Schnittgrößen am diskreten Tragsystem ermittelt werden.
- Berechnungsstufe III: Die Berechnung umfasst eine Schnittgrößenermittlung am diskreten Tragsystem für alle maßgebenden Lasten und die Nachweisführung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

Wenn eine Berechnung ab Berechnungsstufe I ergibt, dass die Befahrbarkeit eines Bauwerks nicht nachgewiesen werden kann, ist es die Aufgabe des Antragstellers, die Befahrbarkeit der Brücke in Absprache mit der Straßenbauverwaltung durch eine genaue statische Auflistung nachzuweisen (Berechnungsstufe II oder Berechnungsstufe III). Übersteigt die maximale Einzelachslast des Schwertransportes 12t, ist immer ein gesonderter Nachweis nach Berechnungsstufe II oder Berechnungsstufe III erforderlich. Kann die Befahrbarkeit einer Brücke nicht durch Berechnungen in den Berechnungsstufen I, II oder III nachgewiesen werden, ist eine negative Stellungnahme abzugeben. Im Folgenden wird eine Zusammenfassung der Berechnungsschritte dargestellt.

Berechnungsstufe I

- Anwendungsbedingung: max. 12 t Einzelachslast
- Vergleich der Schnittgrößen aus den der jeweiligen maßgebenden Brückenklasse zugeordneten Verkehrsbelastung SDIN mit den Schnittgrößen aus den zugehörigen Lastbildern für Schwertransporte SST
- Ermittlung der Schnittgrößen automatisiert, mit vereinfachten, auf der sicheren Seite liegenden Annahmen zum stat. System, zur Querverteilung und zur Verkehrslast
- Ablauf der Vergleichsberechnung:
 - Es sind vier Lastbilder in Bild 3.2.2 der BEM-ING Teil 3 definiert.

- Die Vergleichsberechnung beginnt immer mit Lastbild 1.
- Kann der Befahrbarkeitsnachweis nicht erbracht werden, werden die Lasten auf der Brücke bei der Schwertransportfahrt schrittweise durch Anwendung der Lastbilder 2 bis 4 reduziert.
- Ergebnis der Vergleichsberechnung:
 - Das zuletzt gerechnete Lastbild ist in entsprechende Fahrauflagen umzusetzen.
 - Wird der Nachweis auch unter Lastbild 4 nicht erfüllt, wird als Ergebnis der Vergleichsberechnung ein Fahrverbot ausgegeben.

Berechnungsstufe II

- Anwendungsbedingung für Berechnungsstufe I nicht erfüllt oder Befahrbarkeit eines Bauwerks in Berechnungsstufe I nicht nachweisbar
- Anwendungsbedingungen:
 - Achsabstände > 1,50 m
 - Achsabstände ≤ 1,50 m. Reduktion der vorgenannten maximalen Einzelachslasten im Verhältnis vorhandener Achsabstand/ 1,50 m
 - Keine Spannbetonbrücke mit Kasten- oder Plattenbalkenquerschnitt, bei der die „Zusätzlichen Bestimmungen zu DIN 4227 für Brücken aus Spannbeton“ in der Bestandsstatik nicht berücksichtigt sind. Vergleich der Schnittgrößen SDIN mit SST
- Ermittlung der Schnittgrößen am diskreten Tragsystem
- Durch einen fachkundigen Ingenieur im Auftrag und auf Rechnung des Antragstellers Prüfung durch zugelassenen Prüfenieur für Standsicherheit erforderlich.

Berechnungsstufe III

- Anwendungsbedingungen für Berechnungsstufe I oder II nicht erfüllt oder Befahrbarkeit eines Bauwerks in Berechnungsstufe I und II nicht nachweisbar
- Schnittgrößenermittlung am diskreten Tragsystem für alle maßgebenden Lasten und Nach-

weisführung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

- Durch einen fachkundigen Ingenieur im Auftrag und auf Rechnung des Antragstellers – Prüfung durch zugelassenen Prüfenieur für Standsicherheit erforderlich
- Bei Überschreiten der Anwendungsbedingungen für die Berechnungsstufe II evtl. zusätzliche Maßnahmen erforderlich, z. B. Sonderprüfung gem. DIN 1076, Monitoring

Lastannahmen

In den Berechnungsstufen I und II müssen die Verkehrsbelastungen entsprechend der jeweiligen Brückenklasse (Verkehrsregeln nach DIN 1072, DIN-Fachbericht 101 oder DIN EN 1991-2) berücksichtigt werden, in Stufe I können maximal drei Fahrspuren mit einer Breite von jeweils 3,0 m berücksichtigt werden. Für die Berechnungsstufen I und II wird Folgendes angegeben, um unterschiedliche Verkehrssituationen in die Lastbilder für Schwertransporte abzubilden (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016):

- Lastbild 1: Schwertransport mit gleichzeitigem, erlaubnisfreiem Verkehr.
- Lastbild 2: Schwertransport mit Begleitfahrzeug ohne Wechselverkehrszeichenanlage (WVZ-Anlage), Abstandsregelung und gleichzeitigem, erlaubnisfreiem Verkehr.
- Lastbild 3: Schwertransport mit Begleitfahrzeug mit WVZ-Anlage, Abstandsregelung und Lkw-Überholverbot.
- Lastbild 4: Schwertransport mit Begleitfahrzeug in Alleinfahrt mit normaler Geschwindigkeit oder in Alleinfahrt mit Schrittgeschwindigkeit.

Informationsanforderungen

Die Datengrundlagen für die Bewertung von Tragwerken für Schwertransporte unterscheiden sich für die jeweiligen Berechnungsstufen. In Berechnungsstufe I erfolgt die Bewertung i. d. R. auf der Grundlage stark vereinfachter Systeme (u. a. im Hinblick auf das statische System und die spezifische Lastanordnung). Dies gilt insbesondere dann, wenn Software mit teilautomatisierten Prozessschritten eingesetzt wird, was angesichts der Menge an Anträgen Voraussetzung für eine zeitnahe Bearbei-

tung derer darstellt. Da es derzeit kein allgemeingültiges Verfahren für die Berechnungsstufe I gibt, kann die Datengrundlage daher nur oberflächlich beschrieben werden. Zusammenfassend basieren die meisten Bewertungen in dieser Stufe auf vereinfachten Datengrundlagen.

Die Berechnungsstufen II und insbesondere III basieren hingegen meist auf konkreteren Angaben zu Bauwerk und Einwirkung. Die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen sind mit jenen aus dem Anwendungsfall „Nachrechnung“ vergleichbar.

4.4.2 Einfluss von BIM auf den Anwendungsfall Schwertransporte

Der überwiegende Anteil der Bewertungen von Brückenbauwerken für Schwertransporte findet heute in Berechnungsstufe I statt. Dabei wird häufig bereits auf standardisierte und stark vereinfachte Systemlösungen zurückgegriffen, um i. d. R. auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse zu erhalten. Mit VEMAGS (VERfahrensMANagement für Großraum- und Schwertransporte) erfolgt meist die verfahrenstechnische Abwicklung. BIM bietet hier eine Chance, durch die in einem Modell enthaltenen genaueren Daten eine deutlich verbesserte Basis für die Berechnung vorzuhalten. Dies erfordert jedoch eine Weiterentwicklung des Systems für die Bewertung von Bauwerken für Schwertransporte in Stufe I.

Für die weiteren Stufen II und III gleichen die Potenziale von BIM jenen für den Anwendungsfall „Nachrechnung“ (siehe Kapitel 4.3.4).

4.5 Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen

4.5.1 Beschreibung des Anwendungsfalles

Entsprechend der ASB-ING wird bei den baulichen und betrieblichen Unterhaltungen zwischen Erhaltung (ohne kapazitive Erweiterung) und der Erweiterung (Um- und Ausbau mit kapazitiver Erweiterung) unterschieden. Bei den Erhaltungsmaßnahmen von Bauwerken wird weiter in bauliche Unterhaltung und betriebliche Unterhaltung gegliedert. Grundsätzlich geht man bei der Bauwerksunterhaltung von kleinflächigen Instandhaltungsarbeiten aus, mit denen die Substanz des Bauwerks und seiner Bestandteile und Funktionsfähigkeit erhalten werden soll. Die Unterscheidung zwischen baulicher Unterhaltung und betrieblicher Unterhaltung

sind in der Praxis fließend und nicht immer eindeutig zu unterscheiden. Die betriebliche Unterhaltung ist streckenbezogen und wird im Rahmen des Straßenbetriebsdienstes durchgeführt. Beispiele sind:

- Betrieb und Wartung des Bauwerks und seiner Bestandteile
- Grünpflege
- Reinigung
- Winterdienst
- Verkehrstechnische Dienste
- Kontrolldienste
- Unfalldienste

Zum baulichen Unterhalt gehört beispielsweise:

- Beseitigung örtlicher Schäden
- Kleinflächige Instandhaltung der Verkehrsfläche, Entwässerung und Bauwerke
- Erneuerung oder Entfernung des Zubehörs (Verkehrszeichen, Markierung usw.)

Die Instandhaltung umfasst gemäß DIN 31051 (Deutsches Institut für Normung, 2012) alle Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Mitteln eines Systems. Die Maßnahmen werden definitionsgemäß untergliedert in:

- **Wartung:** Die Wartung dient der Bewahrung des Soll-Zustandes, die Funktionsfähigkeit der Anlagenteile wird erhalten.
- **Inspektion:** Durch die Inspektion wird der derzeitige Ist-Zustand festgestellt, die jeweiligen Funktionsfähigkeiten der Anlagenteile werden zustandsbeurteilt, das Bauwerk wird gesamthaft einer Schadensklasse zugeordnet.
- **Verbesserung:** Bei der Verbesserung wird durch Eingriffe der Zustand des Bauwerkes verbessert. Die Funktionsfähigkeit einzelner Anlagenteile wird verbessert. Eine gesamthafte Verbesserung des Bauwerkes wird im Normalfall nicht erreicht.

Die Instandsetzung beinhaltet Maßnahmen zur Behebung von Schäden und Mängeln an Bauwerken. Die Instandsetzung gliedert sich in den Bereich Re-

paraturen und in die Instandsetzung selbst. Die beiden Begriffe werden wie folgt definiert:

- Reparatur: Bei der Reparatur wird ein defekter Anlagenteil in seine ursprüngliche Funktionalität zurückversetzt.
- Instandsetzung: Bei der Instandsetzung wird durch aktives Handeln der Sollzustand wiederhergestellt und erfolgt als vorbeugende Maßnahme.

Die Ziele der Instandhaltungsmaßnahmen können wie folgt zusammengefasst werden (LUGER, 2009):

- Überwachung und Kontrolle zur frühzeitigen Erkennung des Gesamtzustandes
- Lange Nutzungsphase durch zielorientierte Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen
- Kostenoptimierung bei der Erhaltung durch Zusammenlegen mehrerer Maßnahmen an einem Bauwerk
- Lebensdauermaximum und Kostenminimum = Nachhaltigkeit
- Schonung der Umwelt durch Einsparung von Kosten und Ressourcen

4.5.2 Informationsanforderungen

Die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen hat in der aktuellen Handhabung keine besonderen Anforderungen an das Datenmanagement. Im Wesentlichen werden die Daten aus der Bauwerksdatenbank genutzt, um eventuell bei der Wartung zu berücksichtigende Bauteile zu erfassen und diese bei den Begehungen zu bewerten.

Aus den Interviews mit den Baulastträgern hat sich jedoch der Bedarf eines Serviceheftes für Brücken ergeben.

Dieses Serviceheft beinhaltet bauwerksspezifische Serviceaufgaben, die regelmäßig durchgeführt und dokumentiert werden sollen. Dadurch ließe sich der Aufwand des betrieblichen Unterhalts des Bauwerksbestands besser planen und kalkulieren. Des Weiteren stellte sich in den Diskussionen mit den Baulastträgern heraus, dass sich durch die konkrete Definition des Aufwands für den betrieblichen Unterhalt die Möglichkeit ergebe, diesen extern in Form von Serviceverträgen zu vergeben.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird die informelle Anforderung an ein Serviceheft im Rahmen der vorrausschauenden Erhaltung betrachtet. Dabei werden nicht nur die betrieblichen Maßnahmen, sondern auch die baulichen Maßnahmen in einem Serviceheft verfolgt. Das Serviceheft ist ein Fallbeispiel für ein Modul im Frontend, das konkret auf die entsprechenden Bedürfnisse zugeschnitten wird.

Für wartungsintensive Bauteile bzw. Instandsetzungsmaßnahmen wie beispielsweise

- Entwässerungseinrichtung,
- Abdichtung,
- Fugen,
- Lager,
- Übergangskonstruktionen und
- Hydrophobierung

können die in Tabelle 4-10 dargestellten Informationen hinterlegt werden, um zum einen die betriebliche und zum anderen die vorausschauende (predictive maintenance) Erhaltung zu unterstützen.

Informationsgruppe	Informationsname	Datentyp	Beschreibung	Verantwortlicher
Serviceheft	Lebensdauer	Integer	Die prognostizierte Lebensdauer bzgl. angenommenen DTV	Baulastträger
Serviceheft	Wartungsintervalle	Integer	Intervalle der Wartung bezogen auf Wartungsmaßnahme	Baulastträger
Serviceheft	Wartungsmaßnahme	String	Maßnahme der Wartung	Baulastträger
Serviceheft	Angenommener DTV	String	Annahme bzgl. Lebensdauer	Baulastträger

Tab. 4-10: Informationsanforderungen Serviceheft

4.5.3 Einfluss von BIM auf die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen

Werden Erhaltungsmaßnahmen objektbezogen dokumentiert, entsteht ein Mehrwert durch einen stetigen Überblick über den Zustand des Bauwerks bzw. der Summe seiner Bauteile sowie durch eine mit den Bauteilen verknüpfte Dokumentation der Maßnahmen. In Verbindung mit Daten aus der Bauwerksprüfung (z. B. Zustand des Korrosionsschutzes) sowie der Baukonstruktion (z. B. Stahlgüte und Korrosionsschutzaufbau) werden zudem Auswertungen über die Wirksamkeit von Erhaltungsmaßnahmen und Prognosen für die Lebensdauer und die voraussichtliche Zustandsentwicklung von Mängeln unterstützt. Der vernetzten Betrachtung von Daten kommt also auch hier eine besondere Bedeutung zu.

Auf dieser Grundlage wird die Vorausplanung von Erhaltungsmaßnahmen einschließlich deren Budgetierung verbessert.

4.6 Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau

4.6.1 Beschreibung des Anwendungsfalles

Die Erweiterung ist die strukturelle Modifikation einer Struktur unter Verwendung von Komponenten der Vorläuferstruktur oder die strukturelle Modifikation der Tragstruktur, um die Leistung der Struktur in Bezug auf die Tragfähigkeit und die geometrischen Hauptabmessungen zu erhöhen. Wie in der ASB-ING (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, 2013) beschrieben, wird die Erweiterung in 4 Teile gegliedert:

- Bauwerkserneuerung/Ersatzneubau (mit kapazitiver Erweiterung). Errichtung eines Bauwerks in bestehenden Straßen zum Ersatz eines Vorläuferbauwerks ohne Wiederverwendung von Bauteilen des Vorläuferbauwerks.
- Verbreiterung (mit kapazitiver Erweiterung). Beinhaltet alle baulichen Maßnahmen zur Vergrößerung der Breite zwischen den Geländern, die zur Aufnahme zusätzlicher Fahrstreifen, Gehwege oder Radwege erforderlich sind.
- Überbauerneuerung (mit kapazitiver Erweiterung). Abbruch und Erneuerung des gesamten

Überbaus in einer Breite, die die Aufnahme zusätzlicher Fahrstreifen, Gehwege oder Radwege ermöglicht.

- Tragfähigkeitserhöhung (mit kapazitiver Erweiterung). Beinhaltet bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegenüber der ursprünglichen Bemessung.

4.6.2 Informationsanforderungen

Bei der Erweiterung eines Bauwerks werden die Datensätze gemäß Kapitel 4.1 um die jeweilige Baugeschichte erweitert. Dokumente, Modelle und Datenbanken werden fortgeschrieben und entsprechend der Maßnahme ergänzt.

Als Grundlage dienen ferner die in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Informationen in statischer Hinsicht.

In Hinblick auf den Anwendungsfall „Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau“ und „Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen“ wird zudem analysiert, in welchem Umfang die Notwendigkeit zur kontinuierlichen Fortschreibung von Modellinformationen gegeben und insbesondere die Möglichkeit zur Änderung von Geometrieinformationen erforderlich ist, siehe Kapitel 5.4.

4.6.3 Einfluss von BIM auf die Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau

Bei der Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau spielt BIM zum einen bei den Bestandinformationen und zum anderen bei der Planung eine Rolle. In den folgenden Arbeitspaketen wird analysiert, inwieweit das As-built Modell angepasst wird bzw. als Grundlage für eine Neumodellierung dient.

4.7 Auswertung von Netzstatistiken

4.7.1 Beschreibung des Anwendungsfalles

Auswertungen, die sich nicht auf ein Einzelbauwerk, sondern auf mehrere Bauwerke, Streckenabschnitte oder Streckennetze beziehen, werden im vorliegenden Kontext als Auswertungen auf Netzebene bezeichnet. Dabei kann es sich grundsätzlich um beliebige übergeordnete Auswertungen handeln, beispielsweise

- Auswertung von Verkehrsbelastungsentwicklungen,
- Auswertung von Schadensentwicklungen und Lebensdauern bei ausgewählten Bauwerks- oder Bauteiltypen,
- Auswertung der Wirksamkeit von Instandsetzungsmaßnahmen usw.

Beispiel Verkehrsbelastungsentwicklung

Die Verkehrsbelastung der Brücke wird gemäß vorhandener Verkehrszählungsdaten untersucht. Die Verkehrsdaten werden in Pkw- und Lkw/Bus-Verkehr aufgeteilt, sofern vorhanden, wird die Anzahl der Schwerlasten betrachtet. Daten von automatischen Zählstationen ermöglichen die Erstellung von Tages- und Jahreszeitenprofilen in der Verkehrslast, die bei Bedarf berücksichtigt werden können.

Verkehrszählungsdaten werden mit manuellen Zählungen und durch Dauerzählstationen gesammelt. Hier sorgen die manuellen Zählungen für durchschnittliche tägliche Verkehrsmengen mit Schwerverkehr, die alle 5 Jahre aktualisiert werden. Da die Dauerzählstationen auch kontinuierliche Zählungen für die Jahre liefern, in denen keine manuelle Zählung stattgefunden hat, können die fehlenden manuellen Zählungen durch die Entwicklung der Werte aus den Dauerzählstationen mit ausreichender Genauigkeit interpoliert werden. Nebenbei können Gewicht und Anzahl der genehmigten Schwertransporte betrachtet werden.

Bei den Verkehrsdaten handelt es sich um Rhythmusfrequenz, Jahreszeit und Dauer der Befahrung. Dies bedeutet nicht, dass die anderen Parameter aus der verfügbaren Datenbank wie die Wetterdaten keinen Einfluss auf die Ermittlung der Prognose haben. Sie können immer als Indikatoren in den Prognoseprozess einbezogen werden, wenn die mit den ausgewählten Indikatoren erzielten Prognoseergebnisse unbefriedigend sind.

Grundlage für den Einsatz von KI

Um die Brücken zu überwachen, können auf Basis der Prognosemodelle und anderer klassischen Statistik-Methoden verschiedene Ansätze entwickelt werden, bei denen zunächst versucht wird, einen Wert oder eine Formel festzulegen, mit den bundesweit gemäß den historischen Wetterdaten, den ver-

fügbaren Stammdaten, den Verkehrsdaten und den Betriebsdaten, der Zustandswert der Brücke berechnet werden kann. Aufgrund ihrer Fähigkeit, nichtlineare Beziehungen gut zu analysieren, eignet sich die prädiktive Datenanalyse vom Machine-Learning besonders für die Lösung der komplexen Prognoseprobleme mit weniger expliziten Kenntnissen und einer großen Anzahl von Variablen (Bundesanstalt für Straßenwesen, 1999). Zwei Methoden aus dem informationsbasierten Machine-Learning können schrittweise verwendet werden, die bei der Umsetzung der Lösung detailliert und konsistent implementiert werden können (HELD, 2017):

- Neuronale Netze
- Entscheidungsbäume

Die Modelle für Prognosemethoden für Brückenabschnitte, die auf künstlichen neuronalen Netzen oder Entscheidungsbäumen basieren, werden in einer konstruktiven Technik umgesetzt. Die Wichtigkeitsgrade einzelner Indikatoren sollen erkannt und ein Berechnungsmodell entwickelt werden, um brückenübergreifende Prognosen zu generieren. Ziel des Vergleichs der Prognosemodelle ist es, Erkenntnisse aus verschiedenen Erfahrungen zu gewinnen, die als Anforderungskatalog für die Entwicklung geeigneter Prognosemethoden für das Brücken-Monitoring präsentiert werden.

4.7.2 Informationsanforderungen

Für die Auswertung von Netzdaten gibt es grundsätzlich keine neuen Informationsanforderungen aus dem BIM Workflow. Es ist jedoch notwendig, die Datenstruktur entsprechend der Netzzugehörigkeit auszuwerten. Das bedeutet, dass Datenfelder bauwerksübergreifend für die Auswertung von Informationen genutzt werden können.

4.7.3 Einfluss von BIM auf die Auswertung von Netzstatistiken

Auch im Zusammenhang mit Netzstatistiken liegen Potenziale in der vernetzten Betrachtung von Informationen. Durch BIM werden bereits heute vorliegende bauwerks- oder objektbezogene Informationen – z. B. aus SIB-Bauwerke – um objektorientierte Informationen bereichert, die die Grundlage für entsprechende Auswertungen darstellen. Welche Zusammenhänge lassen sich aus einer Kombinati-

on von DTV- und DTV-SV-Kennzahlen in Verbindung mit Sensordaten von Fahrbahnübergangskonstruktionen erschließen und welche Schlussfolgerungen sind daraus zu ziehen? Wie wird die Lebensdauer von Mittelpfeilern von Straßenüberführungen und Bundesautobahnen durch den Einsatz von Edelstahlbewehrung dort beeinflusst? Diese beispielhaft gewählten Szenarien für die bauwerksübergreifende Auswertung von Daten zeigen, dass die vernetzte Betrachtung von Informationen entscheidend ist. Die Grundlage für möglichst zielgerichtete Auswertungen und für den Einsatz von KI ist eine systematisierte und objektorientierte Datenbasis, die mit BIM erschaffen werden kann.

5 AP3: Analyse der langfristigen Verfügbarkeit von Informationen

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wird untersucht, wie die im AP 2 als notwendig identifizierten Informationen möglichst aufwandsarm erhoben und für den Betrieb bereitgestellt werden können.

5.1 Konzepte zur Erstellung eines As-built Modells im Zuge einer durchgängigen BIM-gestützten Planung

Es ist davon auszugehen, dass bei Neubaumaßnahmen die Anwendung der BIM-Methode entsprechend dem Stufenplan des BMVI zukünftig flächendeckend eingesetzt wird und dementsprechend digitale Bauwerksmodelle entstehen. Bei solchen Maßnahmen muss daher schon während der Lebenszyklusphasen Planen und Bauen eine verlustfreie Übergabe von Informationen in ein As-built Modell als Teil einer Digitalen Bauwerksakte berücksichtigt werden. Dafür sollten insbesondere alle digitalen Informationen, die im Rahmen von BIM-Anwendungsfällen entstehen, möglichst frühzeitig hinsichtlich ihrer Relevanz für Betrieb und Erhaltung deklariert werden, um sie bei der Erstellung des As-built Modells zu berücksichtigen.

5.1.1 As-built Modell

Im Folgenden wird beschrieben, welche Szenarien für die Erstellung des As-built Modells im Verlauf eines Projekts denkbar sind. Der Begriff As-built Mo-

dell ist allerdings bislang teils unklar bzw. nicht eindeutig definiert. Vorangestellt ist daher eine Beschreibung und Abgrenzung des Begriffs As-built Modell im Kontext dieses Projekts.

Definition

Im Rahmen dieses Projekts bezeichnet der Begriff As-built Modell (auch wiegebaut Modell) einen Teil der Digitalen Bauwerksakte (siehe Kapitel 5.1.2). Das As-built Modell entspricht dabei im Wesentlichen dem digitalen Bauwerksmodell, das im Laufe der Ausführungsplanung des Bauwerks erstellt wurde. Konkret handelt es sich jedoch um eine überarbeitete Version dieses Modells, da Abweichungen von der Planung, die sich während der Ausführung ergeben haben, im As-built Modell berücksichtigt werden. So bildet dieses Modell den tatsächlichen Bestand nach der Ausführung ab. Diese Abweichungen schließen sowohl die Geometrie als auch die Semantik des Modells mit ein. Bei geometrischen Abweichungen sind allerdings Toleranzwerte festzulegen, damit kein unverhältnismäßiger Aufwand bei der Erstellung des As-built Modells anfällt, der sich nicht durch die Anforderungen der Anwendungsfälle im Rahmen von Betrieb und Erhaltung begründet. Abweichungen von der Planung, die sich während der Bauausführung ergeben, sind dann nur im Modell nachzuführen, wenn diese größer als die festgelegten Toleranzwerte sind. Falls beispielsweise ein Laserscan genutzt wird, um Abweichungen zwischen einem Modell und der Realität zu identifizieren, muss hier weiterhin die Genauigkeit des Laserscans betrachtet werden (Abweichungen im Millimeterbereich sind meist auf die Messtoleranz zurückzuführen). Zusätzlich ist über einen Toleranzwert festzulegen, ab welcher Abweichung zwischen Modell und Laserscan, das Modell verändert werden muss. Bei Abweichungen, die über diesen Toleranzwerte hinausgehen, ist es erforderlich, das Modell entsprechend zu überarbeiten, wie es auch bei konventionellen 2D-Plänen notwendig wäre. Die Toleranzwerte können sich dabei je nach den betroffenen Bauteilen unterscheiden.

Zusätzlich können relevante Daten (bspw. Temperaturen beim Betonieren), die während der Ausführung erhoben werden, in das Modell integriert werden. Die tatsächlichen Anforderungen an die Inhalte des As-built Modells ergeben sich jeweils aus den Anwendungsfällen, die im Zuge der Bauwerkserhaltung umgesetzt werden sollen.

Prinzipiell sollten im As-built Modell alle für den Betrieb und die Erhaltung relevanten Informationen, die auch Teil der Modelle der Planung und Ausführung sind, enthalten sein. Informationen, die nach dem Abschluss der Bauausführung definitiv nicht mehr benötigt werden, müssen dementsprechend nicht in ein As-built Modell migriert werden. Welche zusätzlichen Informationen ein As-built Modell enthalten muss, ergibt sich letztlich aus der Entscheidung für eines der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Szenarien zur Überführung und Integration des As-built Modells in eine Digitale Bauwerksakte.

Erstellung des As-built Modells

Zur praktischen Umsetzung der Erstellung des As-built Modells sind je nach vertraglicher Konstellation der Ausführung verschiedene Szenarien denkbar. In jedem Fall sollte aber seitens des Auftraggebers die Erstellung eines As-built Modells im Rahmen der Bauausführung ausgeschrieben und beauftragt werden, damit diese (so wie die konventionelle Bestandsplanung) eingefordert werden kann. In der Regel ist also der mit der Bauausführung beauftragte Auftragnehmer für die Erstellung des As-built Modells verantwortlich.

Ist der mit der Bauausführung beauftragte Auftragnehmer nicht zugleich mit der Ausführungsplanung beauftragt, sollte durch den Auftraggeber sichergestellt werden, dass der Auftragnehmer die nativen Modelle der Ausführungsplanung erhält, um diese ohne Einschränkungen überarbeiten zu können. Denkbar ist hierbei auch, dass der ausführende Auftragnehmer den Planer der Ausführungsplanung mit der Erstellung des As-built Modells beauftragt.

In jedem Fall ist sicherzustellen, dass die für das As-built Modell relevanten Informationen, die während der Ausführung generiert werden, an den BIM-Autor, der für die Erstellung des As-built Modells verantwortlich ist, weitergegeben werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass das finale As-built Modell tatsächlich dem gebauten Zustand entspricht. Die verschiedenen vertraglichen Konstellationen, die bei der Beauftragung von Ausführungsplanung und Bauausführung auftreten können, werden im Rahmen dieses Projekts nicht weiter betrachtet.

Letztlich muss der Auftraggeber sicherstellen, dass die korrekte und vollständige Erstellung eines As-built Modells entsprechend den Anforderungen aus den Anwendungsfällen vertraglich sichergestellt

und in entsprechenden Auftraggeber-Informationsanforderungen festgehalten ist. Zur korrekten Vertragsgestaltung sollte bei Unklarheiten eine juristische Beratung erfolgen.

5.1.2 Digitale Bauwerksakte

Die Digitale Bauwerksakte bildet die Datengrundlage für alle Anwendungsfälle, die im Rahmen der BIM-gestützten Umsetzung von Betrieb und Erhaltung betrachtet werden sollen.

Zusammengefasst kann die Digitale Bauwerksakte, so wie sie in diesem Projekt definiert ist, wie folgt charakterisiert werden:

- Sammeln von Informationen aus der Planungs- und Bauphase in Modellen, Dokumenten und weiteren relevanten Datenquellen
- Übergabe von Modellen, Dokumenten und weiteren relevanten Daten in den Betrieb
- Nutzen der gesammelten Modelle, Daten und Dokumente (Backend) für die Anwendungsfälle in der Betriebs- und Erhaltungsphase (Frontend)

Definition

Im Kontext dieses Projekts ist die Digitale Bauwerksakte die wesentliche Datengrundlage der BIM-gestützten Umsetzung von Bauwerksbetrieb und -erhaltung. Die Digitale Bauwerksakte ist dabei nicht als CDE zu verstehen, da es sich bei der Digitale Bauwerksakte um Daten und nicht um ein Tool zur Datenverwaltung handelt.

Die Digitale Bauwerksakte setzt sich aus den folgenden vier Teilbereichen zusammen, die auch in Bild 5-1 dargestellt sind:

- Dokumente: Protokolle, Pläne, Bautagebuch, Fotos etc. in verschiedenen Datenformaten (PDF, JPG etc.)
- As-built Modelle
- GIS-Daten
- Daten, die entsprechend der ASB ING in SIB-Bauwerke vorgehalten werden

Um diese Daten sinnvoll nutzen zu können, ist es notwendig, sie strukturiert abzulegen, damit ein schneller computergestützter Zugriff in Kombination

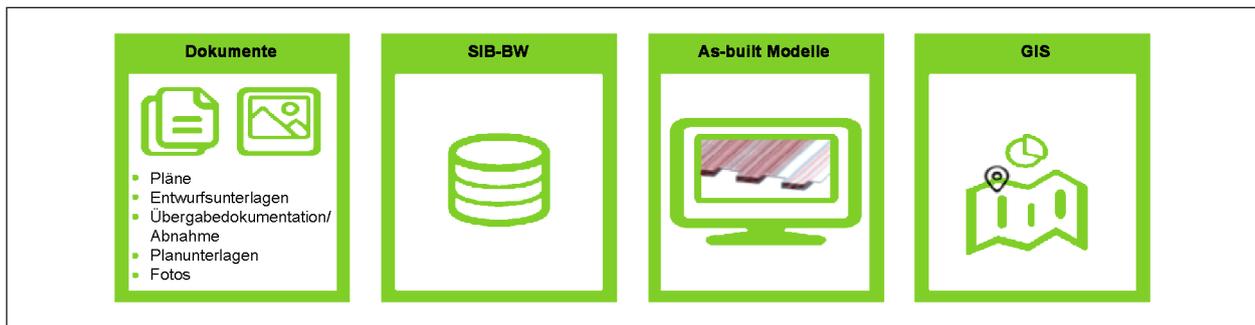


Bild 5-1: Bestandteile der Digitalen Bauteilakte

mit Filter- und Sortierfunktionen erfolgen kann. Da die Digitale Bauwerksakte auch die Datengrundlage des Backends einer Anwendung zur Bauwerkserhaltung bildet, können so für einzelne Anwendungsfälle relevante Daten und Informationen direkt im Frontend für den Nutzer bereitgestellt werden. Eine solche geordnete Ablage schließt auch die Verknüpfung zwischen verschiedenen der genannten Teilbereiche mit ein, um beispielsweise Modellelementen des As-built Modells relevante Dokumente (Pläne, Protokolle etc.) zuzuordnen. Das Frontend kann hierbei als Bauwerksmanagementsystem verstanden werden, das einen übersichtlichen Zugang zu den in der Digitalen Bauwerksakte abgespeicherten Daten ermöglicht. Die Entwicklung eines solchen Frontends zur zukünftigen Verwaltung der Digitalen Bauwerksakte wird empfohlen.

Für diese Zuordnung sind je nach den betroffenen Teilbereichen verschiedene Möglichkeiten der Umsetzung denkbar, wobei es in jedem Fall notwendig ist, alle relevanten Dokumente mit einer eindeutigen ID zu versehen (beispielsweise über eine Dateinamenskonvention) und hinsichtlich ihrer Relevanz für die verschiedenen Anwendungsfälle zu klassifizieren. So können den Modellelementen des As-built Modells die Dokumente zugeordnet werden, die für diese Modellelemente in späteren Anwendungsfällen relevant sind. Im Zuge der Durchführung eines Projekts ist es dementsprechend sinnvoll, alle Dokumente sinnvoll zu strukturieren und möglichst frühzeitig digital abzulegen, eindeutig zu benennen und zu kategorisieren. Eine digitale Ablage, die erst bei Projektabschluss erfolgt, würde keinen Nutzen während des Bauprojekts und zudem einen erhöhten Aufwand am Projektende erzeugen. Insofern sollte bei der Ausschreibung/Vergabe der Bauausführung bereits berücksichtigt werden, dass der AN Dokumente so strukturiert und benannt übergibt, dass sie möglichst direkt in die Digi-

tale Bauwerksakte eingepflegt werden können. Dazu ist es notwendig dem AN möglichst genaue Vorgaben zu machen, damit die Daten tatsächlich direkt eingepflegt werden können.

Einen wichtigen Bestandteil der Digitalen Bauwerksakte bildet das As-built Modell. Zur Verknüpfung von Modell und Dokumenten kann eine Verlinkung, wie in Kapitel 5.5.1 beschrieben, genutzt werden.

Zur vollständigen Dokumentation eines Bauwerks gehören auch Daten aus Geoinformationssystemen (GIS). Daher sollten entsprechende Daten, die im Zuge von Planung und Ausführung erhoben oder zusammengestellt wurden, als Teil der Digitalen Bauwerksakte abgelegt werden. In der Regel liegen GIS-Daten bereits digital und strukturiert vor, wodurch die Möglichkeit der automatisierten Filterung und Anzeige in einem Viewer möglich ist.

Auch die Daten, die ohnehin in SIB-Bauwerke abgelegt sind, bilden einen Teil der Digitalen Bauwerksakte. Über das Frontend, das den Zugriff auf die Digitale Bauwerksakte ermöglicht, müssen daher Daten, die in SIB-Bauwerke vorliegen, abgefragt und nach Möglichkeit auch geändert werden können, sofern keine direkte Nutzung von SIB-Bauwerke erfolgt.

Vorgehen zur Überführung des As-built Modells in die Digitale Bauwerksakte

Im Zuge der Bearbeitung wurden zwei Ansätze betrachtet, die beschreiben, wie ein erstelltes As-built Modell in die Digitale Bauwerksakte überführt werden kann.

Einerseits kann eine Fusion aller Teile der Digitalen Bauwerksakte in einem einzelnen System erfolgen. Beispielhaft kann hier das im Zuge der Entwicklungen von SIB-Bauwerke 2.0 angedachte Vorgehen genannt werden. Letztlich ist es dazu aber notwen-

dig, ein System zur Datenhaltung zu entwickeln, in das alle Eingangsdaten ohne relevante Verluste überführt werden können. Die nativen Eingangsdaten, wie beispielsweise ein As-built Modell, würden anschließend nicht mehr weiter genutzt werden. Vielmehr würde nur noch auf die fusionierten Daten zugegriffen werden und auch Änderungen könnten nur an diesen Daten erfolgen. Unabhängig davon, ob ein solches System neu entwickelt werden würde oder in Form von SIB-BW 2.0 existiert, wird dieses Vorgehen aus den folgenden Gründen als weniger zielführend erachtet. Eine Konvertierung der Daten birgt immer das Risiko eines Informationsverlusts. Da keine nativen Daten mehr vorliegen (und vor allem nicht fortgeschrieben werden), können diese auch nicht in anderen Anwendungen genutzt werden. Auch der Aufwand zur Konzeption eines entsprechend umfassenden Datenmodells und die notwendigen Implementierungen zur Umsetzung der Datenkonvertierung sprechen nicht für eine Fusionierung der Daten in einem neu zu erstellendem System.

Alternativ bietet sich die Möglichkeit der Nutzung von Techniken, die unter dem Begriff Linked-Data in den letzten Jahren sowohl in Forschung untersucht als auch in der Praxis eingesetzt werden. Daten aus verschiedenen Quellen, die in einer Anwendung simultan genutzt werden sollen, werden dabei in der Regel in ihren nativen Formaten vorgehalten. Dies bedeutet allerdings, dass die Daten innerhalb der verschiedenen Datenquellen (im Kontext dieses Projekts sind das die Teile der Digitalen Bauwerksakte) konsequent so abgebildet werden, dass sie eindeutig referenziert werden können. Für eine konkrete Information muss also definiert sein, ob sie bspw. an einer bestimmten Stelle in SIB-BW vorliegt oder in einem bestimmten Attribut im As-built Modell. Informationen die zur Umsetzung der Anwendungsfälle im Frontend angezeigt oder bearbeitet werden, müssen also mit ihrem eigentlichen Speicherort verlinkt sein. Es ist dabei auch möglich, Informationen, die in mehreren Quellen vorliegen, mit multiplen Links zu versehen. Dies ermöglicht einerseits Konsistenzprüfungen und andererseits die simultane Änderung von Informationen in verschiedenen Teilen der Digitalen Bauwerksakte. Damit lassen sich die Teile der Digitalen Bauwerksakte auch einzeln nutzen, falls einzelne Anwender beispielsweise anfänglich keinen Zugriff auf ein System zur Bauwerkserhaltung haben. Sobald sich das beschriebene Vorgehen etabliert hat, sollte jedoch kritisch betrachtet werden, inwieweit eine redun-

dante Datenhaltung überhaupt notwendig ist. Auf lange Sicht sollte angestrebt werden, dass Daten innerhalb der Digitalen Bauwerksakte nur an einer Stelle gespeichert werden. Natürlich bringt auch die Definition dieser Verlinkung einen anfänglichen Arbeitsaufwand mit sich. Allerdings müssen nur Verlinkungen für die Informationen, die zur Umsetzung der Anwendungsfälle notwendig sind, definiert und gepflegt werden. Da die nativen Daten aber weiterhin komplett bestehen, können jederzeit zusätzliche Verlinkungen definiert werden, falls weitere Informationen benötigt werden. Ein Informationsverlust kann damit also weitgehend ausgeschlossen werden und Weiterentwicklungen sind vergleichsweise unproblematisch. SIB-Bauwerke ist in diesem Fall ein eigenständiges System, das auch direkt benutzt werden kann. Es wird dabei allerdings vorausgesetzt, dass ein System zur Bauwerkserhaltung auf die Daten in SIB-Bauwerke zugreifen und diese auch verändern kann (Lese-/Schreibzugriff). Damit einher geht auch die automatische Übernahme von Daten aus dem As-built Modell in SIB-Bauwerke. Es sollten allerdings keine Daten im Modell abgelegt werden, nur damit diese in SIB-Bauwerke übertragen werden können.

5.2 Konzepte zur Erstellung von As-built Modellen für bestehende Bauwerke

Für die Einführung des BIM-gestützten Erhaltungsmanagement bei Bestandsbrücken ergibt sich die große Herausforderung, dass Daten vielfach nur begrenzt digital vorliegen. Fehlende Informationen müssen daher nachträglich ergänzt werden. Hierbei sind folgende Datengruppen zu unterscheiden: Geometrie, Material, Schäden. Für diese Datengruppen werden im Folgenden Methoden zur Erfassung aufgeführt und der jeweilige Aufwand abgeschätzt. Generell ist mit Techniken, die aktuell erforscht und umgesetzt werden, keine aufwandsarme Erstellung von As-built Modellen bestehender Bauwerke möglich, die an die Qualität von Modellen von Neubauten, bei denen modellbasiert vorgegangen wurde, heranreichen. Dennoch ist es für einige der Anwendungsfälle im Rahmen des Erhaltungsmanagements (z. B. Bauwerksprüfung) ausreichend, weniger detaillierte Modelle vorzuhalten.

5.2.1 Einschränkungen im Vergleich zu Neubauten

As-built Modelle, die aufwandsarm mit einer der im folgenden beschriebenen Methoden erzeugt werden, werden in der Regel nicht die gleiche Genauigkeit wie Modelle aufweisen, die im Zuge von Planung und Bauausführung erstellt und fortgeschrieben wurden. Eine hohe geometrische Genauigkeit kann nur bei einer detaillierten Vermessung des Bestandsbauwerks und der Analyse von Bestandsplänen erzielt werden. Je nach Alter, Umgebung, Zugänglichkeit und Zustand des Bauwerks können sich auch hierbei Probleme ergeben. Auch alphanumerische Informationen müssen hier zumindest teilweise in ein As-built Modell eingepflegt werden. Als zielführend wird es dementsprechend betrachtet, die Informationen nur so detailliert zu erfassen, wie es für die Anwendungsfälle, die umgesetzt werden sollen, notwendig ist. Bei As-built Modellen, die unter diesen Gegebenheiten erstellt werden, ist also zu berücksichtigen, dass vergleichsweise wenige Informationen vorliegen und die Modelle nicht zwangsläufig zu anderen Zwecken als der Umsetzung bestimmter Anwendungsfälle genutzt werden können. Es muss also vor Erstellung des As-built Modells festgelegt werden, welche Anwendungsfälle umgesetzt werden sollen, damit ein As-built Modell erstellt werden kann, das den Anforderungen aller Anwendungsfälle gerecht wird.

5.2.2 Modellerzeugung

Die Datengrundlage hinsichtlich bereits vorliegender Unterlagen zur Modellierung der Bauwerksgeometrie ist von Brücke zu Brücke sehr unterschiedlich. Je nach Baujahr der Brücke liegen keine Pläne, Pläne in Papierform oder Pläne in digitaler Form vor. Die in diesen Dokumenten auffindbaren Angaben sollten vor Ort validiert werden, um sie als Grundlage für die Modellierung des digitalen Bauwerksmodells heranzuziehen.

Weitere Möglichkeiten zur Erfassung der 3D-Geometrie des realen Baukörpers liegen in der manuellen Vermessung des Bauwerks, der Aufnahme mit 3D-Laserscan, Radarmessungen oder der Anwendung photogrammetrischer Erfassungsverfahren. Ergebnis derartiger Erfassungsmethoden ist eine 3D-Punktwolke, die anschließend mithilfe halbautomatischer Verfahren in ein Oberflächenmodell überführt werden kann. Dabei können sowohl stationäre Verfahren als auch mobile (z. B. Fahrzeug, Drohne)

Verfahren zum Einsatz kommen. Zur Erfassung von außen nicht erkennbarer Strukturen eignen sich Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung, bspw. zur Erfassung der Lage der Spannglieder.

Ein alternativer bzw. ergänzender Ansatz liegt in der Nutzung von parametrisierten Grundmodellen (diese können auch als Vorlagen- oder Platzhaltermodelle bezeichnet werden) der am häufigsten vorkommenden Standardbrücken. Dabei kann durch Einstellen der freien Parameter und Abgleich mit einer Punktwolke bzw. manuellem Aufmaß äußerst aufwandsarm ein 3D-Modell erstellt werden. Eine Weiterentwicklung dessen ist die sogenannte wissensbasierte Modellierung. Im Folgenden werden die wesentlichen Möglichkeiten zur Modellierung aufgezeigt und deren Aufwand abgeschätzt.

Manuelles Modellieren

Unter manuellem Modellieren wird hier das Konstruieren des Bestandsbauwerks mit üblichen BIM-Modellierungswerkzeugen ohne Zuhilfenahme automatisierter Methoden verstanden. Der Einsatz ist nur bei ungewöhnlichen Rahmenbedingungen oder Abweichung von der Standardbrücke sinnvoll. Es ist mit einem hohen Aufwand zur Erstellung des Modells zu rechnen.

Parametrisches Modellieren

Unter parametrischem Modellieren wird das Konstruieren des Bestandsbauwerks unter Einsatz von parametrischen CAD Softwarewerkzeugen verstanden, die eine schnelle Anpassung von Abmessungen und Bauteilen ermöglichen. Als Werkzeuge kommen hier ausschließlich Softwaresysteme zum Zug, die das parametrisierte Modellieren unterstützen. Es stellt eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum manuellen Modellieren dar, da mit einem parametrisierten Modell deutlich mehr Varianten abgedeckt sind, wodurch sich der Modellierungsaufwand reduziert. Dieser Effekt ergibt sich insbesondere bei hohen Wiederholungszahlen. Es ist im Vergleich zur manuellen Modellierung mit einem reduzierten Aufwand zur Erstellung des Modells zu rechnen.

Wissensbasiertes Modellieren

Das wissensbasierte Modellieren basiert auf der parametrischen Modellierung, allerdings wird hierbei auf zuvor formalisiertes Ingenieurwissen wie

Richtzeichnungen oder Regelquerschnitte zurückgegriffen. Im Unterschied zum parametrischen Modellieren kann die Topologie der Brückenbauteile, z. B. Überbautyp, Anzahl der Pfeiler, Pfeilerform etc., dynamisch geändert werden. Es ist die schnellste Art der Modellierung von Platzhaltermodellen. Es ist mit geringem Aufwand zur Erstellung des Modells zu rechnen, wenn eine Kombination mit Techniken der parametrischen Modellierung erfolgt. Hierzu muss aber in jedem Fall eine ausreichende Datengrundlage vorhanden sein. Umso detaillierter und genauer ein Modell dem tatsächlichen Bauwerk entsprechen soll, desto größer wird auch der Aufwand. Eine reine Kombination von wissensbasierter und parametrischer Modellierung erstellt letztlich nur ein Platzhaltermodell, bei dem nicht sichergestellt ist, dass geometrische Abmessungen tatsächlich exakt der Realität entsprechen.

Automatische Geometriegenerierung

Diese Methodik findet bei der Verarbeitung von Punktwolken Anwendung, um ein reales Abbild des Brückenmodells zu erstellen. Dabei erkennen Algorithmen selbständig Muster in der Punktwolke und generieren die entsprechende Bauteilgeometrie. Aktuell existieren in diesem Bereich verschiedene Forschungsansätze, die aber nicht generalisierbar sind und trotzdem solide Ergebnisse liefern. Mit einem Einsatz in der Praxis, der verlässliche Ergebnisse liefert, ist erst nach weiteren Forschungsarbeiten zu rechnen. Es ist weiterhin denkbar, auch Ansätze der automatischen Geometriegenerierung mit den zuvor genannten parametrischen und wissensbasierten Ansätzen zu koppeln. Dabei wird ein parametrisches Platzhaltermodell über wissensbasierte Parameter verfeinert und mit einer Realdatenaufnahme (z. B. Punktwolke) abgeglichen, um eine noch bessere Annäherung sicherzustellen.

5.3 Verwaltung von As-built Modellen

Aktuell wird in den meisten BIM-Projekten nach wie vor die Version IFC 2x3 (Industry Foundation Classes) verwendet, um digitale Bauwerksmodelle herstellerneutral auszutauschen. IFC 4 ist als Datenschema zwar bereits seit 2013 verfügbar, wird von den Herstellern aber erst zögerlich ein- und umgesetzt. Dies hat unter anderem damit zu tun, dass viele Koordinierungsaufgaben sehr gut mit der bestehenden Version IFC 2x3 durchgeführt werden können. Ursache dafür sind beispielsweise die be-

reits in Version IFC 2x3 vorhandenen Proxy-Elemente sowie die dynamisch erweiterbaren Eigenschaften (Property Sets), die beide auch für die Abbildung der notwendigen Brückeninformationen genutzt werden. Hier wird in der Regel ein speziell für das Bauwerk entwickelter Bauteilkatalog verwendet. Werden Bauteile nicht explizit vom IFC-Schema abgedeckt, kann der Datenaustausch über die generischen IFC-Proxy-Konzepte erfolgen. Dieser Mehraufwand kann mit der neuen IFC 4x2 Erweiterung für Brückenbauwerke reduziert werden, da eine projektübergreifende Standardisierung der Bauteilkataloge unter Berücksichtigung zusätzlicher Merkmale auf Basis der deutschen Regelwerke effizient möglich ist (7. OKSTRA-Symposium, 2018).

Die IFC verfügen mit den Entitäten `IfcProxy` und `IfcBuildingElementProxy` bereits seit ihren Anfängen auch über generische Elemente, die u. a. zum Datenaustausch von BIM-Modellen für Brückenbauwerke eingesetzt werden. Zusätzlich verfügen die IFC über einen Mechanismus, der das Erweitern von Elementeigenschaften (Properties) erlaubt. Dieser Mechanismus ist insgesamt sehr flexibel und wurde zuletzt noch um die Möglichkeit von Vorlagen (Templates) erweitert. Über den Template-Mechanismus (`IfcPropertySetTemplate`) lassen sich darüber hinaus Vorgaben über die Attributierung der Objekte machen. Da die IFC ursprünglich aus dem Hochbau stammen, sind derzeit nur wenige typenbasierte Modelle zur Abbildung von Straßeninfrastruktur oder Brücken verfügbar. Ein erster Schritt in diese Richtung war die Einführung von IFC-Alignment (IFC 4x1) zur Abbildung der Linienführung von Infrastrukturobjekten (z. B. von Straßen). Der nächste Schritt ist nun mit der Erweiterung von IFC zur Abbildung von Brückenbauwerken in Version IFC 4x2 (IFC-Bridge) erfolgt. Weitere typenbasierte Modelle, nämlich IFC-Road, IFC-Rail, IFC-Tunnel und IFC-Harbour (Ports & Waterways) zur Abbildung der Straßen- und Schieneninfrastruktur sowie von Tunnelbauwerken und Häfen, sind bereits unterschiedlich weit vorangeschritten und sollen in IFC 5 verfügbar sein. Eine erste Version von IFC 5 ist angekündigt.

Zur Erweiterung der IFC um deutsche Anforderungen wurde der Aufbau der ASB-ING im Rahmen einer Schwachstellenanalyse von IFC-Bridge³ analy-

³ <https://planen-bauen40.de/ifc-bridge/>

siert und Möglichkeiten zur Integration der ASB-ING-spezifischen deutschen Anforderungen an Bauwerksinformationen in das IFC-Format aufgezeigt. Auf der Basis der ASB-ING 2013 und der ASB_ING NEU wurden exemplarisch für Teile eines Brückenmodells Erweiterungsmöglichkeiten der IFC-Modelle um ASB-ING-spezifische Klassen und Merkmale durchgeführt und ein Konzept zur Erweiterung der IFC um deutsche Anforderungen vorgeschlagen. In diesem Zusammenhang wurden ASB-ING-spezifische Klassen zur Dokumentation vom Bauwerkszustand (Schäden, Prüfungen etc.) betrachtet.

Sowohl Schäden als auch Prüfungen und Maßnahmenempfehlungen beziehen sich im Sinne der ASB-ING immer auf ein Teilbauwerk. Sie sind im IFC-Schema bisher nicht vorgesehen. Daher existieren im IFC-Standard derzeit keine geeigneten Modellierungsklassen zur Beschreibung von Schäden. Es müssen also auch die bisher nicht in den IFC berücksichtigten Klassen (Schaden, Prüfung etc.) geeignet ins IFC-Schema integriert werden. Da sich die Daten hauptsächlich auf das entsprechende Teilbauwerk beziehen, sollten sie auch an dieser Stelle gespeichert werden. So bietet sich beispielsweise für das in IFC 4x2 eingeführte IFC-Element `IfcBridgePart` (Teilbauwerk) je ein Property Set an, welchem Daten zu Schäden bzw. Prüfungen oder Maßnahmen übergeben werden können.

5.4 Veränderung von As-built Modellen im IFC-Format

Es ist darauf hinzuweisen, dass ein vollkommen verlustfreier Datenaustausch mit einem neutralen Datenaustauschformat bislang nicht realisiert werden kann. Daten und Informationen eines produkt-internen Datenmodells der Autorensoftware gehen zwangsläufig verloren, wenn sie nicht in IFC abgebildet werden können. Dies betrifft z. B. komplexe Varianten der Beschreibung von parametrischer Geometrie, die beispielsweise mit der parametrischen Logik eines generativen Systems wie Revit Dynamo, Rhino Grasshopper oder Siemens NX erzeugt werden können. Das Endergebnis ist zwar austauschbar, nicht aber die Entstehungsgeschichte, was dazu führt, dass die Adaptivität verloren geht. Aus diesem Grund ist ein verlustfreier Datenaustausch bei identischem Export- und Import-Programm mittels IFC häufig nur mit Einschränkungen realisierbar, d. h. ein Teil der Modelllogik wird in der Regel verlorengehen.

Trotz der oben genannten Einschränkungen ist eine Weiternutzung und Überarbeitung eines Modells möglich: Bei geometrisch einfachen Modellobjekten (gerade Wände, Träger, Bohrpfähle) ist bei richtiger Konfiguration der Export- und Importmodule eine Modifizierbarkeit im empfangenden Programm weiterhin gegeben. Alle per IFC importierten Bauteile, bei denen keine geometrischen Änderungen notwendig sind, können als statische Modellelemente weiterverwendet werden. Dabei können beispielsweise Attributwerte geändert oder neue Attribute hinzugefügt werden. Zudem ist bei der Weiterentwicklung des Modells der Austausch bzw. die Neuerzeugung von Modellelementen unter Bezugnahme auf bereits modellierte Elemente möglich (Referenzmodell). Grundsätzlich kann ein im IFC-Dateiformat abgespeichertes Modell also auch nach der Fertigstellung des Bauwerks weiter genutzt und auch verändert werden, falls z. B. Bauteile ausgetauscht, Attributwerte geändert oder Attribute entfernt bzw. hinzugefügt werden sollen. Im Falle des Austauschs eines Bauteils (z. B. eines Lagers) könnten die Attribute (z. B. Einbaudatum) des entsprechenden Modellelements dann im Modell mit den im Folgenden genannten Werkzeugen verändert werden.

Es sind auch Werkzeuge verfügbar, die sich auf die Bearbeitung von Modellen spezialisiert haben (z. B. `simpleBIM`), welche im IFC-Format abgespeichert sind. So ist es mit derartigen Werkzeugen beispielsweise möglich, ein Modell anzupassen bzw. anzureichern (z. B. durch Löschen/Hinzufügen/Ändern von Attributen), um Einschränkungen beim Export des Modells aus dem ursprünglichen Autorenwerkzeug zu korrigieren oder Informationen direkt im IFC-Modell zu verändern. Bei der Änderung der geometrischen Teile eines Modells muss allerdings in der Regel eine zumindest teilweise Neumodellierung stattfinden, sofern es sich nicht lediglich um das Löschen von Modellelementen handelt. Mit der weiteren Verbreitung von IFC und der Weiterentwicklung der BIM-Autorensysteme ist allerdings zumindest mit einer langsamen Verbesserung dieser Herausforderung zu rechnen.

5.5 Direkte Verknüpfung von Informationen mit dem Modell

5.5.1 Verlinkung von Dokumenten mit dem Modell

Es ist grundsätzlich möglich, Dokumente (Dateien jeglicher Art) mit einem digitalen As-built Modell zu verknüpfen. Dies lässt sich am einfachsten über die Referenzierung des Dokuments in einem Attribut an dem Bauteil (oder den Bauteilen), für die das Dokument relevant ist, erreichen. Je nach Software, in der das Modell betrachtet wird, kann das betreffende Dokument so direkt aus dem Modell heraus geöffnet werden. So können schon während der Erstellung des As-built Modells Verknüpfungen zwischen Modellen/Modellelementen und Dokumenten hergestellt werden, was den Aufwand der Verlinkung zu einem späteren Zeitpunkt reduziert. Falls eine solche Referenzierung von Dokumenten im Modell schon vor der Erstellung des As-built Modells im Projekt umgesetzt wird, kann zusätzlich schon während der Planung und Ausführung von den Vorteilen dieses Vorgehens Gebrauch gemacht werden.

5.5.2 Nutzung des Modells im Feld

Grundsätzlich ist es denkbar und auch sinnvoll, die Digitale Bauwerksakte und damit das As-built Modell auch bei Arbeiten am Bauwerk zu verwenden. Während sich Technologien im Bereich der Augmented Reality hier noch in der Entwicklung befinden, kann über die Nutzung von Tablet PCs schon jetzt eine potenzielle Unterstützung von Aufgaben, die vor Ort durchgeführt werden müssen, realisiert werden. Hierbei kann bei einer Begehung des Bauwerks auf die Inhalte der Digitalen Bauwerksakte zugegriffen werden, um notwendige Informationen direkt einzusehen. Zusätzlich können Informationen die vor Ort erfasst werden (bspw. Verortung von Schäden inkl. eines Fotos am Modell) direkt in die Digitale Bauwerksakte eingepflegt werden. Im Fall von nachträglich erstellten As-built Modellen von Bestandsbauwerken können unvollständige Informationen auch direkt bei einer Begehung ergänzt werden.

6 AP 4: Optimierte Erfassung der für die Betriebsphase notwendigen Daten

Im Arbeitspaket 4 wird beschrieben, wie erforderliche Daten optimiert erfasst und übergeben werden, wie sich die Prozesse verändern und welche Anforderungen daraus entstehen.

Hinsichtlich der Informationslieferkette muss dabei bei der praktischen Umsetzung so vorgegangen werden, sodass die notwendigen Daten optimal erfasst und übergeben werden. Dafür wurden die verschiedenen Erfassungsszenarien wie Modellierung, Berechnung, Verlinkung usw. analysiert. Daraus wurden Szenarien entwickelt, die bei der technischen Umsetzung unterstützen sollen. Ein Beispiel für ein solches Template ist ein IFC Property Set (Eigenschaftensatz) für die Übergabe des Projektes in die Betriebsphase, mit dem projektspezifische Eigenschaften aus den Bauwerksmodellen mit den Informationen, die im Erhaltungssystem benötigt werden, verknüpft werden können. Diese Templates können individuell angepasst und auch standardisiert werden.

Im Kapitel 7 werden die geforderten Informationen so aufbereitet, dass sie in Auftraggeber-Informationsanforderungen integriert und standardisiert verwendet werden können.

Zur optimierten Erfassung gehört auch ein Konzept zur Qualitätssicherung. Dieses beinhaltet zum einen den Prozess zur Qualitätssicherung und zum anderen eine Rollen- und Verantwortungsmatrix im Projekt. Des Weiteren wird beschrieben, wie mithilfe einer regelbasierten Modellprüfung die Informationsanforderungen automatisiert auf Vollständigkeit geprüft werden können. Damit ist sowohl das Anlegen als auch das Prüfen der erforderlichen Parameter standardisiert. Somit wird der Prozess zur Erfassung der notwendigen Daten in den Phasen Planen und Bauen verbessert und zusätzlich die folgende Erstellung des As-built Modells unterstützt.

Eine weitere Komponente der Informationslieferkette während der Projektbearbeitung ist die Steuerung der Informationen über eine gemeinsame Datenumgebung (oder auch Common Data Environment/CDE). Dafür werden die Anforderungen an eine solche Plattform erstellt, um den Datenfluss reibungslos und qualitätsgesichert durchführen zu können. Durch die Verwendung eines geeigneten CDEs können beispielsweise schon während der

Projektbearbeitung Daten und Modelle so strukturiert bzw. aufgebaut werden, dass sich der Aufwand bei der Überführung in die Digitale Bauwerksakte verringert. Letztlich werden dann Teile der Daten, die im Laufe der kollaborativen Projektbearbeitung in der CDE verwaltet wurden, in die Digitale Bauwerksakte übergeben. Das CDE ist jedoch nur während der tatsächlichen Projektabwicklung relevant. Sobald u. a. auf Basis der Daten aus dem CDE eine Digitale Bauwerksakte erstellt wurde, wird das CDE in der Regel nicht weiter genutzt.

Eine weitere Aufgabe dieses Arbeitspaketes ist es, zu definieren, welche Informationen in welcher Form nach der Bauphase übergeben und wie diese Informationen auf Baulastträgerseite eingepflegt

werden. Grundsätzlich ist dabei zu erarbeiten, in welche Systeme die Informationen aus Modellen, Dokumenten und semantischen Informationen im Betrieb übernommen werden.

6.1 Erfassung von alphanumerischen Informationen

Die alphanumerischen semantischen Informationen eines digitalen Bauwerksmodells werden auch als Eigenschaften oder Attribute bezeichnet. Dies gilt für die Modelle, die während Planung und Ausführung erstellt werden, genauso wie für As-built Modelle als Teil einer Digitalen Bauwerksakte. Die Attri-

Informationen	Bauteile														
	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Felsanker	Lager	Fahrbahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen	Gestaltungen	Leitungen	Oberflächenschutzsysteme
Ort	x														
Lagekoordinaten	x														
Art	x														
Konstruktion	x														
Statisches System Längs	x														
Statisches System Quer	x														
Querschnitt Überbau	x														
Querschnitt HTW	x														
Felder	x														
Stützweiten	x														
Gesamtlänge	x														
Breite	x														
Brückenfläche	x														
Winkel	x														
Vorspannrichtung				x											
Spannkraft				x											
Art der Verpressung				x											
Spannverfahren				x											
Lagerungsart							x								
Anzahl der Lamellen								x							
Gesamtdehnmweg								x							
Verankerung										x					
Betondeckung planm.		x	x		x										
Herstelldatum		x													
Herstellverfahren		x													
GUID		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Klassifikation		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Bild 6-1: Beispielhafte Typ- und Attributtabelle (TAT), „x“ stellt die Verlinkung dar

bute müssen funktional den Informationsanforderungen der in Kapitel 7 beschriebenen Anwendungsfälle entsprechen. Weiterhin können zusätzliche auftraggeberspezifische Informationen bereitgestellt werden, die für die weitere Nutzung der Modelle benötigt werden.

Für die effektive Nutzbarkeit eines Modells ist dabei eine eindeutige Kennzeichnung aller Bauteile nach ihrem Modellelement-Typ (Klassifikation nach Bauteiltyp) unerlässlich. Dies ist aktuell vor allem deswegen notwendig, da IFC 4x2 noch nicht verwendet wird und das IFC-Format somit keine brückenspezifischen Bauteiltypen berücksichtigt.

Auftraggeberseitig sollte dabei in den AIAs die Klassifikation und Attributierung der Modellelemente entsprechend den Anforderungen aus den geplanten Anwendungsfällen festgelegt werden. Abweichungen und Ergänzungen sind grundsätzlich möglich, müssen aber vom Auftragnehmer im BAP (BIM-Abwicklungsplan) spezifiziert und mit dem Auftraggeber abgestimmt werden.

Zur Festlegung der Klassifikation und Attributierung sollte dabei formal vorgegangen werden. Hier bietet sich generell die Nutzung einer Typ- und Attributtabelle (TAT) an, in der für jeden Modellelement-Typ eine entsprechende Bezeichnung vorgegeben wird und die sowohl Planung, Ausführung als auch Betrieb berücksichtigt. Jedes Modellelement muss dabei beispielsweise mit einem Attribut „Modellele-

ment-Typ“ versehen werden, dass die Bezeichnung des entsprechenden Modellelement-Typs wiedergibt. Die TAT beinhaltet zudem die Auflistung der für jeden Modellelement-Typ geforderten Attribute. Grundsätzlich sollte bei der Umsetzung dieses Vorgehens möglichst früh die Erstellung des As-built Modells und damit der Betrieb in der TAT berücksichtigt werden. So kann die entsprechende Erweiterung der TAT direkt umgesetzt werden und es ergeben sich durch eine spätere Erweiterung keine Konflikte oder Inkonsistenzen bei der Benennung von Modellelement-Typen und Attributen.

Die TAT sollte im Bauprojekt kontinuierlich zwischen AG und AN abgestimmt werden. Eine beispielhafte TAT ist in Bild 6-2 dargestellt.

6.2 Automatisierte Prüfung von alphanumerischen Informationen

BIM-Prüfwerkzeuge wie beispielsweise der Solibri Modelchecker oder Desite MD dienen dazu, die in BIM-Autorenwerkzeugen erstellten Fachmodelle weitgehend automatisiert zu überprüfen. Im Vordergrund steht hierbei die Prüfung des Modells hinsichtlich Kollisionen und der in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und im BIM-Abwicklungsplan (BAP) definierten Modellierungsrichtlinien und Anforderungen an den Ausarbeitungsgrad. Es handelt sich bei der hier beschriebenen Prüfung

Object Types Groups	Object Types	<input checked="" type="checkbox"/> BauteilID_Allplan	<input checked="" type="checkbox"/> Einheit	<input type="checkbox"/> Allgemein_Baustoff	<input type="checkbox"/> Allgemein_RIZ-ING	<input checked="" type="checkbox"/> Klassifizierung	<input checked="" type="checkbox"/> MSS_Projekt	<input checked="" type="checkbox"/> MS
	Anschuetzung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Gradiente	✓	✓			✓	✓	
	Pflasterung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Hinterfuellung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Boeschungstreppe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Bild 6-2: Darstellung von Bauteiltypen und Attributen im webbasierten Tool properBIM

ERGEBNISSE		Keine Filterung	Automatisch				
Ergebnisse							
▼	ABDN [3/3]						
▶	Missing Property: EntwBT_Gefaeelle						
▶	Missing Property: FahrbaUeKo_Typ						
▶	Missing Property: Stahlbau_Beschichtung_aussen_Nummer						

Bild 6-3: Ergebnisse einer automatisierten Modellprüfung auf Basis der TAT

des Modells jedoch in der Regel nicht um eine fachliche Prüfung der Planung durch den Auftraggeber. Solche Werkzeuge können auch bei der Prüfung von As-built Modellen verwendet werden, da sich durch eine automatisierte Prüfung der manuelle Arbeitsaufwand deutlich reduzieren lässt und zusätzlich eine höhere Modellqualität sichergestellt werden kann.

Eine Prüfung des Modells sollte insbesondere die folgenden Aspekte beinhalten: Visuelle Prüfung, Vollständigkeit, Redundanzen, Korrektheit der Informationen, Klassifikation, Attributierung, Attributwertebereiche, Verwendung der korrekten geometrischen Repräsentationen, Konsistenz von Modell und 2D-Plänen. Es wird davon ausgegangen, dass As-built Modelle im IFC-Format vorliegen und so die gängigen auf dem Markt verfügbaren Softwareprodukte verwendet werden können.

Die Verwendung der im vorigen Kapitel beschriebenen TAT bildet eine wesentliche Grundlage für die automatisierte Prüfung der alphanumerischen Informationen in einem Modell. Am Lehrstuhl für computergestützte Modellierung und Simulation wurde ein webbasiertes Tool properBIM (Bild 6-2) entwickelt, mit dem eine solche TAT online von verschiedenen Projektbeteiligten erstellt und bearbeitet werden kann. Die dort definierten Anforderungen an die alphanumerischen Informationen können über eine Anbindung an das Modellprüfungstool Solibri Office automatisiert geprüft werden, ohne dass eine manuelle Erstellung der entsprechenden Prüfregeln notwendig ist (Bild 6-3).

6.3 Prüfung der geometrischen Genauigkeit

Die geometrischen Anforderungen an As-built Modelle ergeben sich aus den Anwendungsfällen, die umgesetzt werden sollen. In der Regel müssen diese Modelle dafür so überarbeitet werden, dass sie

der Genauigkeit von konventionellen Bestandsplänen entsprechen. In vielen Fällen ist dafür nicht unbedingt eine Überarbeitung des Modells erforderlich. Für die Anwendungsfälle Bauwerksprüfung, Nachrechnung, Schwertransporte, Durchführung von kleineren Erhaltungsmaßnahmen sowie die Auswertung von Netzstatistiken wird davon ausgegangen, dass ein überarbeitetes Ausführungsmodell ausreichend genau ist. Bei bestimmten Anwendungsfällen wie die Erweiterung des Bauwerks oder bei umfangreicheren Erhaltungsmaßnahmen hingegen ist eine sehr detaillierte Aufnahme der Geometrie beispielsweise mittels Laserscan erforderlich, da die tatsächliche Geometrie (die bspw. auch Verformungen nach der Ausführung berücksichtigen muss) relevant ist.

Zur Prüfung der Geometrie eines As-built Modells in Hinblick auf die Geometrie der tatsächlichen Bauausführung ist eine vollkommene Automatisierung allerdings kaum möglich. Da das gebaute Bauwerk mit dem As-built Modell verglichen werden muss, ist es notwendig, die Geometrie des Bauwerks vor Ort zu erfassen. Neben einer konventionellen Vermessung, mit der einzelne Abmessungen verglichen werden, sind auch Techniken wie Photogrammetrie und Laserscans denkbar, die ohnehin zur Erstellung von As-built Modellen eingesetzt werden können. In diesem Fall wird allerdings kein Modell erstellt, sondern die erfasste Punktwolke mit dem As-built Modell überlagert, um zu prüfen, ob die Modelle deckungsgleich sind. Teils können hier automatisierte Abstandanalysen (Soll-Ist-Vergleich) durchgeführt werden. In diesem Fall wären Toleranzen im Bereich der aktuell geltenden Bautoleranzen unter Berücksichtigung der Messtoleranzen denkbar.

Von den Beteiligten in einem Projekt sind grundsätzlich mindestens die Personen zu benennen, die die folgenden Rollen übernehmen: BIM-Gesamtkoordinator und BIM-Manager. Die wie in Bild 6-4 dargestellten Verantwortlichkeiten und Aufgaben dieser Rollen sollten auch unabhängig von der Um-

	Aufgaben	BIM-Manager	BIM-Gesamtkoordinator
Projektvorbereitung	BIM-Ziele (projektspezifisch)	V	
	BIM-Arbeitsabläufe	V	
	Vertragliche Anforderungen	V	
	Kommunikation und Dokumentation	V	
	Prozesse und Workflows definieren	V	
	BIM-Lastenheft (AIA)	V	
	BIM-Abwicklungsplan erstellen	M	V
Bauausführung	Projektsteuerung (Kosten & Termine)	M	V
	Qualitätssicherung		
	1) auftragnehmerseitig		V
	2) auftraggeberseitig	V	
	Schnittstellenkoordination	M	V
	Konfiguration und RollOut CDE	M	V
	Sicherstellung und Umsetzung AIA		V
	BIM-Audit und BIM-Jourfixe	M	V
	Modellkoordination	M	V
	Kollisionsprüfung Koordinationsmodell	M	V
Modellieren		M	
Projektübergabe	V	V	

Verantwortlich
Mitwirkend

Bild 6-4: Mögliche Verantwortlichkeiten/Aufgaben und Rollen in einem Projekt im Kontext der BIM-Umsetzung (Quelle: DEGES BIM-Leitfaden)

setzung von BIM im Erhaltungsmanagement definiert werden. Die Verantwortlichkeiten müssen aber in jedem Fall so erweitert werden, dass die Erstellung und Prüfung des As-built Modells mitberücksichtigt wird.

6.4 Rollen und Verantwortlichkeiten im Hinblick auf die Qualitätssicherung

Von den Beteiligten in einem Projekt sind grundsätzlich mindestens die Personen zu benennen, die die folgenden Rollen übernehmen: BIM-Gesamtkoordinator und BIM-Manager. Die wie in der Bild 6-4 dargestellten Verantwortlichkeiten und Aufgaben dieser Rollen sollten auch unabhängig von der Umsetzung von BIM im Erhaltungsmanagement definiert werden. Die Verantwortlichkeiten müssen aber in jedem Fall so erweitert werden, dass die Erstellung und Prüfung des As-built Modells mitberücksichtigt wird.

In der Betriebs- und Erhaltungsphase sind keine Rollen vorgesehen, welche sich ausschließlich mit

den digitalen Prozessen beschäftigen. Vielmehr sind die Fähigkeiten der vorhandenen Rollen so zu erweitern, dass die Prozesse künftig in der BIM-Methode umgesetzt werden können.

6.5 Anforderungen an ein CDE

Um einen einheitlichen und nachvollziehbaren Datenübergabeprozess im Lauf eines Projekts zu gewährleisten, sollte in einem BIM-gestützten Projekt ablauf ein Werkzeug zur zentralen Daten- und Modellverwaltung verwendet werden.

Ein solches Werkzeug wird üblicherweise als gemeinsame Datenumgebung (engl. Common Data Environment – CDE) bezeichnet (teils auch Projektplattform oder Projektkommunikationssystem genannt). Darin werden die Informationen aller Projektbeteiligten zusammengeführt. So kann gewährleistet werden, dass projektrelevante Informationen zentral abgelegt werden und die Datenübergabe nachvollziehbar dokumentiert wird. Als Informationen sind in diesem Kontext nicht nur Modelle, sondern auch weitere Daten und Dokumente (Zeichnungen, Dokumentationen, Ablaufpläne etc.) anzusehen. Das wesentliche Merkmal einer gemeinsamen Datenumgebung ist die Möglichkeit, den Zugriff auf bestimmte Daten durch die verschiedenen Projektbeteiligten im Sinne einer Rechte- und Freigabeverwaltung zu steuern, einzelnen Modellen oder Dateien einen Status zuzuweisen sowie eine Versionierung zu ermöglichen. Für eine optimale Nutzung der gemeinsamen Datenumgebung ist die übergreifende Festlegung einheitlicher Namenskonventionen für alle abgelegten Dateien Voraussetzung. Einige der verfügbaren gemeinsamen Datenumgebungen sind zusätzlich mit integrierten Viewern ausgestattet, um ein Modell direkt zu betrachten und eine erste visuelle Kontrolle durchzuführen. Für BIM-Projekte sollte eine gemeinsame Datenumgebung eingesetzt werden, die über einen solchen (möglichst leistungsfähigen) Viewer verfügt.

Bei Werkzeugen zur Modellverwaltung gilt es weiterhin zu beachten, wie und wo die dort abgelegten Daten gespeichert werden. Insbesondere bei Anwendungen, die dezentrale Online-Speicher nutzen, ist der Datenschutz und die Sicherheit der Daten zu gewährleisten.

7 AP 5: Entwicklung eines praxisgerechten Konzepts für den modellbasierten Betrieb von Brücken

Im Rahmen des Arbeitspakets 5 wird für jeden der in AP 2 betrachteten Anwendungsfälle der Einfluss von BIM, die Nutzung der Informationen sowie die daraus entstehenden Soll-Prozesse im Betrieb konzipiert.

Der in AP 2 beschriebene Anwendungsfall „Baudokumentation „As-built“ wird in Kapitel 5 beschrieben und für die nachfolgend beschriebenen Anwendungsfälle als Grundlage vorausgesetzt.

Die nachfolgend zu den einzelnen Anwendungsfällen dargestellten Datengrundlagen beschreiben die Informationen, die für die modellbasierte Umsetzung der Anwendungsfälle erforderlich sind. Dabei wird auch dargestellt (mit „x“ gekennzeichnet), aus welchen Datenquellen diese Informationen stammen.

Weiterhin wird dargestellt (mit „x“ gekennzeichnet), welche neuen Informationen in Form von Daten und Dokumenten bei der modellbasierten Durchführung des Anwendungsfalles erzeugt werden und wohin diese Informationen gespeichert werden.

Für jeden Anwendungsfall werden die mit dem Modell verknüpften Dokumente („o“) und im Modell hin-

terlegten Attribute („x“), welche für die Umsetzung des jeweiligen Anwendungsfalles benötigt werden und im Zuge der Umsetzung des Anwendungsfalles erzeugt werden, dargestellt.

Das Frontend der für die Umsetzung der Anwendungsfälle konzipierten Plattform stellt die erforderlichen und generierten Informationen in einer vorgefilterten und strukturierten Form anwendungsfallspezifisch dar.

7.1 Übersicht

Als Grundlage für alle Anwendungsfälle dient der Überblick der Auswahl der entsprechenden Bauwerke nach entsprechenden Kriterien wie dem konkreten Bauwerksnamen oder der ASB-Ing Nummer sowie dem Bundesland, dem Brückentyp oder dem Baujahr.

Weiterhin dient der Überblick der Darstellung aller Bauwerksinformationen, um sich so einen Überblick über das Bauwerk verschaffen zu können.

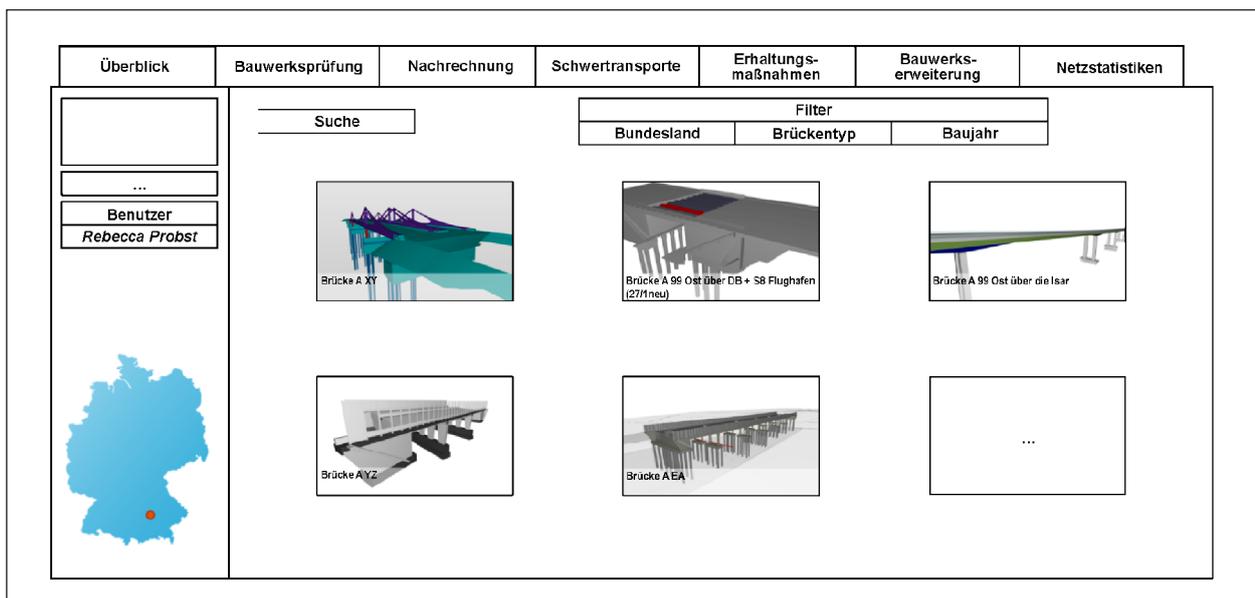


Bild 7-1: MockUp einer Frontend Übersicht

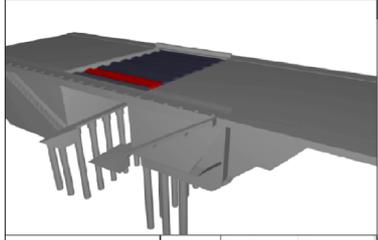
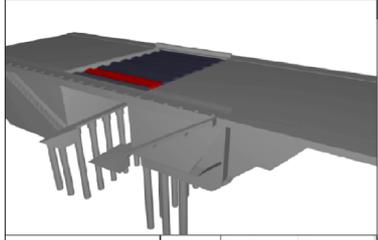
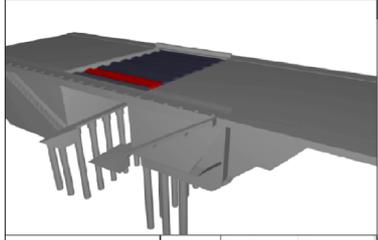
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																																							
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>Punktwolke</th> <th>Fotos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">  </td> </tr> <tr> <td> Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf </td> <td colspan="2"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Eigenschaft</th> <th>Wert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Standort</td><td>Spreewald</td></tr> <tr><td>Substanzkategorie</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Integrität</td><td>C50/60</td></tr> <tr><td>Belastung</td><td>S2000</td></tr> <tr><td>Einwirkkategorie</td><td>III,30</td></tr> <tr><td>Expositionsklasse</td><td>XC4 XC2 XC1 WA</td></tr> <tr><td>IFC_Bauklasse</td><td>R8000</td></tr> <tr><td>Strukturklasse</td><td>Tragwerk</td></tr> <tr><td>LOD</td><td>400</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>100</td></tr> <tr><td>Modellname</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td>Stichtagsausgang</td><td>0:00</td></tr> <tr><td>Standardisierungsnummer</td><td>12.914.3/201 04 03 00 TA</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>11,58</td></tr> </tbody> </table> </td> </tr> </tbody> </table>	Modell	Punktwolke	Fotos				Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Eigenschaft</th> <th>Wert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Standort</td><td>Spreewald</td></tr> <tr><td>Substanzkategorie</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Integrität</td><td>C50/60</td></tr> <tr><td>Belastung</td><td>S2000</td></tr> <tr><td>Einwirkkategorie</td><td>III,30</td></tr> <tr><td>Expositionsklasse</td><td>XC4 XC2 XC1 WA</td></tr> <tr><td>IFC_Bauklasse</td><td>R8000</td></tr> <tr><td>Strukturklasse</td><td>Tragwerk</td></tr> <tr><td>LOD</td><td>400</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>100</td></tr> <tr><td>Modellname</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td>Stichtagsausgang</td><td>0:00</td></tr> <tr><td>Standardisierungsnummer</td><td>12.914.3/201 04 03 00 TA</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>11,58</td></tr> </tbody> </table>		Eigenschaft	Wert	Standort	Spreewald	Substanzkategorie	N_FTE_SA	Integrität	C50/60	Belastung	S2000	Einwirkkategorie	III,30	Expositionsklasse	XC4 XC2 XC1 WA	IFC_Bauklasse	R8000	Strukturklasse	Tragwerk	LOD	400	Lebensdauer	100	Modellname	N_FTE_SA_02	Stichtagsausgang	0:00	Standardisierungsnummer	12.914.3/201 04 03 00 TA	Volumen	11,58	
	Modell	Punktwolke	Fotos																																										
																																													
	Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Eigenschaft</th> <th>Wert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Standort</td><td>Spreewald</td></tr> <tr><td>Substanzkategorie</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Integrität</td><td>C50/60</td></tr> <tr><td>Belastung</td><td>S2000</td></tr> <tr><td>Einwirkkategorie</td><td>III,30</td></tr> <tr><td>Expositionsklasse</td><td>XC4 XC2 XC1 WA</td></tr> <tr><td>IFC_Bauklasse</td><td>R8000</td></tr> <tr><td>Strukturklasse</td><td>Tragwerk</td></tr> <tr><td>LOD</td><td>400</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>100</td></tr> <tr><td>Modellname</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td>Stichtagsausgang</td><td>0:00</td></tr> <tr><td>Standardisierungsnummer</td><td>12.914.3/201 04 03 00 TA</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>11,58</td></tr> </tbody> </table>		Eigenschaft	Wert	Standort	Spreewald	Substanzkategorie	N_FTE_SA	Integrität	C50/60	Belastung	S2000	Einwirkkategorie	III,30	Expositionsklasse	XC4 XC2 XC1 WA	IFC_Bauklasse	R8000	Strukturklasse	Tragwerk	LOD	400	Lebensdauer	100	Modellname	N_FTE_SA_02	Stichtagsausgang	0:00	Standardisierungsnummer	12.914.3/201 04 03 00 TA	Volumen	11,58												
	Eigenschaft	Wert																																											
	Standort	Spreewald																																											
	Substanzkategorie	N_FTE_SA																																											
	Integrität	C50/60																																											
	Belastung	S2000																																											
	Einwirkkategorie	III,30																																											
Expositionsklasse	XC4 XC2 XC1 WA																																												
IFC_Bauklasse	R8000																																												
Strukturklasse	Tragwerk																																												
LOD	400																																												
Lebensdauer	100																																												
Modellname	N_FTE_SA_02																																												
Stichtagsausgang	0:00																																												
Standardisierungsnummer	12.914.3/201 04 03 00 TA																																												
Volumen	11,58																																												
<table border="1"> <tr><td>Amt</td><td>ABD Südbayern</td></tr> <tr><td>SM</td><td>AM Hohenbrunn</td></tr> <tr><td>Konstrukt.</td><td>1F-SpBFtmOB-Ra</td></tr> <tr><td>Brkl.</td><td>LMM</td></tr> <tr><td>MLC R K</td><td>100/50 100/50</td></tr> <tr><td>Baujahr</td><td>2019</td></tr> <tr><td>UI/UA</td><td>UI/UA bei SBV</td></tr> <tr><td>Baulast</td><td>Bund</td></tr> <tr><td>T-Index</td><td>I</td></tr> </table>		Amt	ABD Südbayern	SM	AM Hohenbrunn	Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra	Brkl.	LMM	MLC R K	100/50 100/50	Baujahr	2019	UI/UA	UI/UA bei SBV	Baulast	Bund	T-Index	I	<table border="1"> <tr><td>Art</td><td>Brücke als geschlossener Rahmen</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. L</td><td>Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. Q</td><td>Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen</td></tr> <tr><td>Bst. Ubb</td><td>Spannbetonfertigteile mit Ortbeton</td></tr> <tr><td>Q.ÜBB</td><td>Mehrstufiger Vollquerschnitt</td></tr> <tr><td>Q.HTW</td><td>Mit Querschnitt des Überbaus identisch</td></tr> <tr><td>Felder</td><td>1</td></tr> <tr><td>Stw.</td><td>14,00 m</td></tr> <tr><td>Ges.länge</td><td>14,17 m</td></tr> <tr><td>Breite</td><td>24,75 m</td></tr> <tr><td>Br.Fläche</td><td>351 m²</td></tr> <tr><td>Winkel</td><td>89,90 - Links gon</td></tr> </table>		Art	Brücke als geschlossener Rahmen	Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen	Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton	Q.ÜBB	Mehrstufiger Vollquerschnitt	Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch	Felder	1	Stw.	14,00 m	Ges.länge	14,17 m	Breite	24,75 m	Br.Fläche	351 m ²	Winkel	89,90 - Links gon
Amt	ABD Südbayern																																												
SM	AM Hohenbrunn																																												
Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra																																												
Brkl.	LMM																																												
MLC R K	100/50 100/50																																												
Baujahr	2019																																												
UI/UA	UI/UA bei SBV																																												
Baulast	Bund																																												
T-Index	I																																												
Art	Brücke als geschlossener Rahmen																																												
Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt																																												
Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen																																												
Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton																																												
Q.ÜBB	Mehrstufiger Vollquerschnitt																																												
Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch																																												
Felder	1																																												
Stw.	14,00 m																																												
Ges.länge	14,17 m																																												
Breite	24,75 m																																												
Br.Fläche	351 m ²																																												
Winkel	89,90 - Links gon																																												

Bild 7-2: Frontend Übersichtsseite mit Modell, Bauteilinformationen und zugehörigen Dokumenten.

Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																																								
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>Punktwolke</th> <th>Fotos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">  </td> </tr> </tbody> </table>	Modell	Punktwolke	Fotos																																						
	Modell	Punktwolke	Fotos																																											
																																														
	<table border="1"> <tr><td>Amt</td><td>ABD Südbayern</td></tr> <tr><td>SM</td><td>AM Hohenbrunn</td></tr> <tr><td>Konstrukt.</td><td>1F-SpBFtmOB-Ra</td></tr> <tr><td>Brkl.</td><td>LMM</td></tr> <tr><td>MLC R K</td><td>100/50 100/50</td></tr> <tr><td>Baujahr</td><td>2019</td></tr> <tr><td>UI/UA</td><td>UI/UA bei SBV</td></tr> <tr><td>Baulast</td><td>Bund</td></tr> <tr><td>T-Index</td><td>I</td></tr> </table>		Amt	ABD Südbayern	SM	AM Hohenbrunn	Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra	Brkl.	LMM	MLC R K	100/50 100/50	Baujahr	2019	UI/UA	UI/UA bei SBV	Baulast	Bund	T-Index	I	<table border="1"> <tr><td>Art</td><td>Brücke als geschlossener Rahmen</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. L</td><td>Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. Q</td><td>Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen</td></tr> <tr><td>Bst. Ubb</td><td>Spannbetonfertigteile mit Ortbeton</td></tr> <tr><td>Q.ÜBB</td><td>Mehrstufiger Vollquerschnitt</td></tr> <tr><td>Q.HTW</td><td>Mit Querschnitt des Überbaus identisch</td></tr> <tr><td>Felder</td><td>1</td></tr> <tr><td>Stw.</td><td>14,00 m</td></tr> <tr><td>Ges.länge</td><td>14,17 m</td></tr> <tr><td>Breite</td><td>24,75 m</td></tr> <tr><td>Br.Fläche</td><td>351 m²</td></tr> <tr><td>Winkel</td><td>89,90 - Links gon</td></tr> </table>		Art	Brücke als geschlossener Rahmen	Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen	Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton	Q.ÜBB	Mehrstufiger Vollquerschnitt	Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch	Felder	1	Stw.	14,00 m	Ges.länge	14,17 m	Breite	24,75 m	Br.Fläche	351 m ²	Winkel	89,90 - Links gon
	Amt	ABD Südbayern																																												
	SM	AM Hohenbrunn																																												
	Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra																																												
	Brkl.	LMM																																												
	MLC R K	100/50 100/50																																												
	Baujahr	2019																																												
UI/UA	UI/UA bei SBV																																													
Baulast	Bund																																													
T-Index	I																																													
Art	Brücke als geschlossener Rahmen																																													
Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt																																													
Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen																																													
Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton																																													
Q.ÜBB	Mehrstufiger Vollquerschnitt																																													
Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch																																													
Felder	1																																													
Stw.	14,00 m																																													
Ges.länge	14,17 m																																													
Breite	24,75 m																																													
Br.Fläche	351 m ²																																													
Winkel	89,90 - Links gon																																													

Bild 7-3: Mögliche Darstellung einer Frontend Übersichtsseite mit Modell

Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																																								
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>Punktwolke</th> <th>Fotos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">  </td> </tr> </tbody> </table>	Modell	Punktwolke	Fotos																																						
	Modell	Punktwolke	Fotos																																											
																																														
	<table border="1"> <tr><td>Amt</td><td>ABD Südbayern</td></tr> <tr><td>SM</td><td>AM Hohenbrunn</td></tr> <tr><td>Konstrukt.</td><td>1F-SpBFtmOB-Ra</td></tr> <tr><td>Brkl.</td><td>LMM</td></tr> <tr><td>MLC R K</td><td>100/50 100/50</td></tr> <tr><td>Baujahr</td><td>2019</td></tr> <tr><td>UI/UA</td><td>UI/UA bei SBV</td></tr> <tr><td>Baulast</td><td>Bund</td></tr> <tr><td>T-Index</td><td>I</td></tr> </table>		Amt	ABD Südbayern	SM	AM Hohenbrunn	Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra	Brkl.	LMM	MLC R K	100/50 100/50	Baujahr	2019	UI/UA	UI/UA bei SBV	Baulast	Bund	T-Index	I	<table border="1"> <tr><td>Art</td><td>Brücke als geschlossener Rahmen</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. L</td><td>Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. Q</td><td>Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen</td></tr> <tr><td>Bst. Ubb</td><td>Spannbetonfertigteile mit Ortbeton</td></tr> <tr><td>Q.ÜBB</td><td>Mehrstufiger Vollquerschnitt</td></tr> <tr><td>Q.HTW</td><td>Mit Querschnitt des Überbaus identisch</td></tr> <tr><td>Felder</td><td>1</td></tr> <tr><td>Stw.</td><td>14,00 m</td></tr> <tr><td>Ges.länge</td><td>14,17 m</td></tr> <tr><td>Breite</td><td>24,75 m</td></tr> <tr><td>Br.Fläche</td><td>351 m²</td></tr> <tr><td>Winkel</td><td>89,90 - Links gon</td></tr> </table>		Art	Brücke als geschlossener Rahmen	Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen	Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton	Q.ÜBB	Mehrstufiger Vollquerschnitt	Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch	Felder	1	Stw.	14,00 m	Ges.länge	14,17 m	Breite	24,75 m	Br.Fläche	351 m ²	Winkel	89,90 - Links gon
	Amt	ABD Südbayern																																												
	SM	AM Hohenbrunn																																												
	Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra																																												
	Brkl.	LMM																																												
	MLC R K	100/50 100/50																																												
	Baujahr	2019																																												
UI/UA	UI/UA bei SBV																																													
Baulast	Bund																																													
T-Index	I																																													
Art	Brücke als geschlossener Rahmen																																													
Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen,Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt																																													
Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen																																													
Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton																																													
Q.ÜBB	Mehrstufiger Vollquerschnitt																																													
Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch																																													
Felder	1																																													
Stw.	14,00 m																																													
Ges.länge	14,17 m																																													
Breite	24,75 m																																													
Br.Fläche	351 m ²																																													
Winkel	89,90 - Links gon																																													

Bild 7-4: Frontend Übersichtsseite mit Fotos

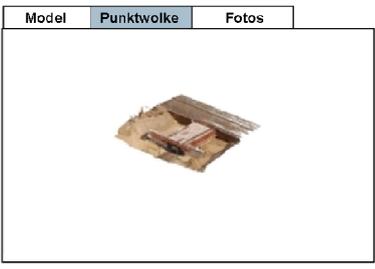
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken	
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen				Modell	Punktwolke	Fotos
	Amt	ABD Südbayern	Art	Brücke als geschlossener Rahmen			
	SM	AM Hohenbrunn	Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen, Stieffüße und/oder Kämpfer eingespannt			
	Konstrukt.	1F-SpBFTmOB-Ra	Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen			
	Brkl.	LMM	Bst. Üb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton			
	MLC R K	100/50 100/50	Q.ÜBB	Mehrstegiger Vollquerschnitt			
	Baujahr	2019	Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch			
	UI/UA	UI/UA bei SBV	Felder	1			
	Baulast	Bund	Stw.	14,00 m			
	T-Index	I	Ges.länge	14,17 m			
			Breite	24,75 m			
			Br.Fläche	351 m²			
			Winkel	89,90 - Linke gon			

Bild 7-5: Frontend Übersichtsseite mit Punktwolke

7.2 AwF Bauwerksprüfung

Ziel des Anwendungsfalls

Zur Erfassung des Ist-Zustandes, der Gewährleistung der Sicherheit und der frühzeitigen Schadenserfassung werden Bauwerksuntersuchungen nach DIN 1076 durchgeführt. Bei diesen Bauwerksprüfungen werden die Bauwerke nach einem systematischen Verfahren geprüft und festgestellte Schäden nach den Kriterien Verkehrssicherheit, Stand-sicherheit und Dauerhaftigkeit beurteilt.

Mit dem Einsatz von BIM bzw. dem Linked-Data-Ansatz können in der Bauwerksprüfung die Grundlagendaten in einer höheren Qualität zur Verfügung gestellt werden. Zudem kann in einem modellorientierten digitalen Prozess eine objektorientierte Schadenserfassung durchgeführt werden.

Modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls

Folgende Schritte werden im Frontend durchgeführt:

1. Auswahl der Zuständigkeit (Bild 7-6)

Vom Anwender wird ausgewählt, zu welcher Zuständigkeitsgruppe er gehört. Dies kann auch über die Berechtigungsstruktur des jeweiligen Accounts automatisch durchgeführt werden.

2. Auswahl der Aufgaben (je nach Zuständigkeit)

Je nach Zuständigkeit wird vom Anwender ausgewählt, welche Tätigkeit durchgeführt werden soll (Bild 7-7).

Beispiel Hauptprüfung (Bild 7-8)

3. Auswahl der durchzuführenden Prüfung (Bild 7-9 und Bild 7-10)

Für die Auswahl der durchzuführenden Prüfung werden die Informationen der letzten und der nächsten geplanten Prüfung angegeben. Zudem können über einen Link die Informationen zu allen vergangenen Prüfungen eingeholt werden.

4. Einsatzplanung/Vorbereitung (Bilder 7-11 bis 7-13)

Für die Einsatzplanung und Vorbereitung der Prüfung werden alle dafür erforderlichen Schritte angezeigt. Zudem werden die wesentlichen Informationen sowie die geografische Lage (auf Basis der GIS Daten) und das BIM-Modell dargestellt. Der Bearbeiter kann sich so einen ganzheitlichen Überblick über das Bauwerk verschaffen.

Für die Durchführung der Vorbereitung der Prüfung sind die zur Durchführung erforderlichen Informationen hinterlegt, z. B. Link zur Beschaffung der Besichtigungsgeräte.

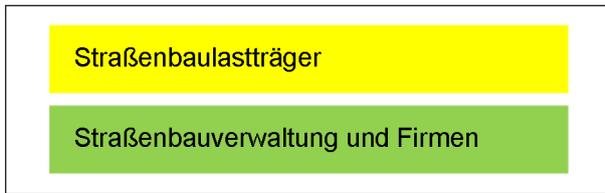


Bild 7-6: Auswahl der Zuständigkeitsgruppe

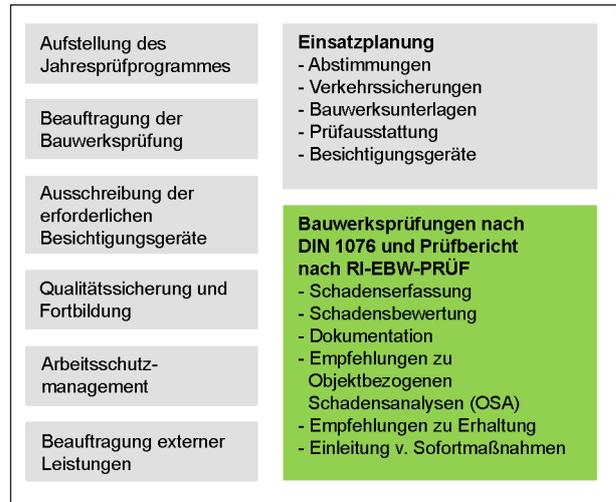


Bild 7-8: Auswahl der Tätigkeit am Beispiel Hauptprüfung



Bild 7-7: Auswahl der Tätigkeit

Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken	
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019		Datum	Art	Prüfer	Note	
			TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf
						1,7	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Einsatzplanung</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Prüfung DIN 1076</div>							

Bild 7-9: Mögliche Auswahl der Prüfungen

Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken	
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019		Datum	Art	Prüfer	Note	
			TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf
						1,7	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Einsatzplanung</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;">Prüfung DIN 1076</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Hauptprüfung</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Einf. Prüfung</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Sonderprüfung</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Prüf. bes. Vorschrift</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Besichtigung</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">Lauf. Beobachtung</div>							

Bild 7-10: Auswahl Hauptprüfung

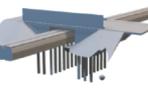
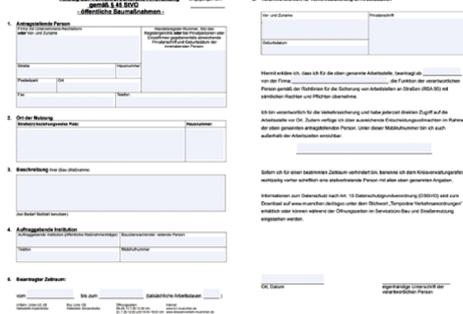
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datum</th> <th>Art</th> <th>Prüfer</th> <th>Note</th> <th>Prüfbericht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TT.MM.JJJJ</td> <td></td> <td></td> <td>2,0</td> <td>123 Prüfbericht.pdf</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,7</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht	TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf				1,7					
		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht																
TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf																		
			1,7																			
Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung	Einsatzplanung und Vorbereitung Organisieren der Verkehrssicherungsmaßnahmen Genehmigungen einholen Einsatzplanung für das Prüfpersonal Terminabstimmung Arbeitssicherungsmaßnahmen Planung von Vorleistungen Erforderliche Besichtigungsgeräte Erforderliche Prüfgeräte Erforderliche Verkehrssperren Klärung Zugänglichkeiten																					

Bild 7-11: Beispielhafte Darstellung zur Durchführung der erforderlichen Verkehrssperren

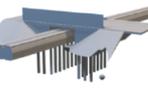
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datum</th> <th>Art</th> <th>Prüfer</th> <th>Note</th> <th>Prüfbericht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TT.MM.JJJJ</td> <td></td> <td></td> <td>2,0</td> <td>123 Prüfbericht.pdf</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,7</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht	TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf				1,7					
		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht																
TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf																		
			1,7																			
Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung	Einsatzplanung und Vorbereitung Organisieren der Verkehrssicherungsmaßnahmen Genehmigungen einholen Einsatzplanung für das Prüfpersonal Terminabstimmung Arbeitssicherungsmaßnahmen Planung von Vorleistungen Erforderliche Besichtigungsgeräte Erforderliche Prüfgeräte Erforderliche Verkehrssperren Klärung Zugänglichkeiten																					

Bild 7-12: Einsatzplanung/Vorbereitung

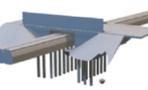
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datum</th> <th>Art</th> <th>Prüfer</th> <th>Note</th> <th>Prüfbericht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TT.MM.JJJJ</td> <td></td> <td></td> <td>2,0</td> <td>123 Prüfbericht.pdf</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,7</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht	TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf				1,7					
		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht																
TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf																		
			1,7																			
Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung	Einsatzplanung und Vorbereitung ✓ Organisieren der Verkehrssicherungsmaßnahmen ✓ Genehmigungen einholen ✓ Einsatzplanung für das Prüfpersonal ✓ Terminabstimmung ✓ Arbeitssicherungsmaßnahmen ✓ Planung von Vorleistungen ✓ Erforderliche Besichtigungsgeräte ✓ Erforderliche Prüfgeräte ✓ Erforderliche Verkehrssperren Klärung Zugänglichkeiten		Zuständige Stelle Max Mustermann Musterstraße 1 12345 Musterstadt Schlüssel 1234567																			

Bild 7-13: Durchgeführte Einsatzplanung und Vorbereitung

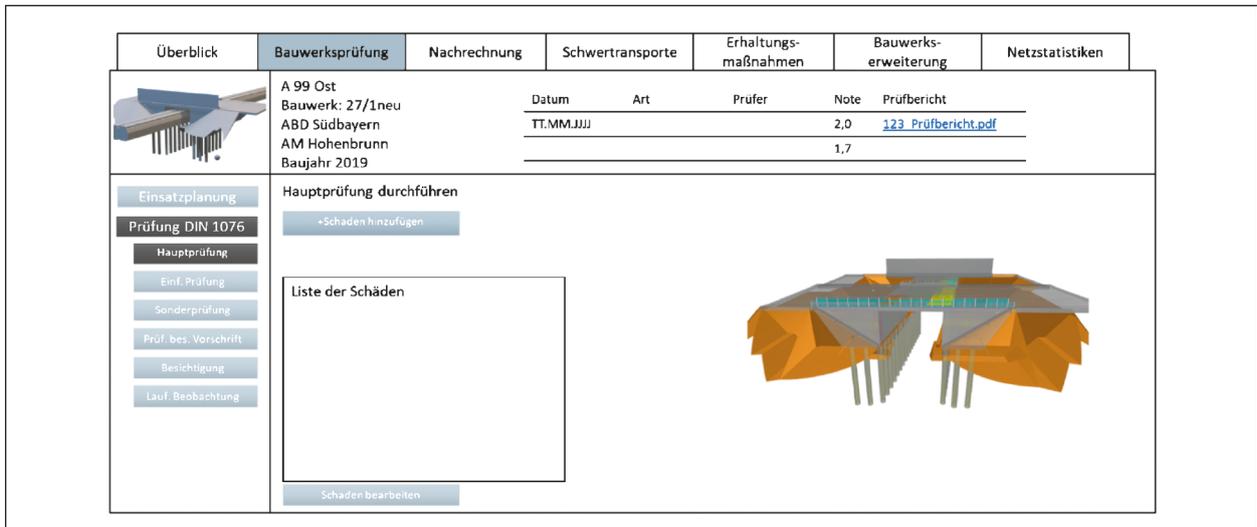


Bild 7-14: Mögliche Auswahl zur Durchführung der Hauptprüfung

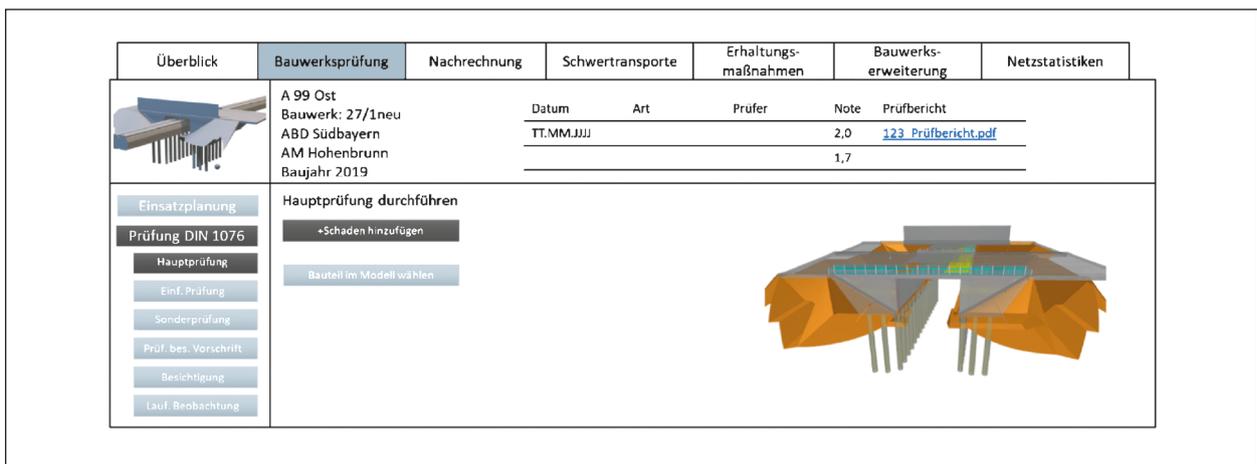


Bild 7-15: Darstellung zum Hinzufügen von Schäden am PC

5. Durchführung der Hauptprüfung (Bild 7-14 und Bild 7-15)

Die Hauptprüfung wird mithilfe eines Tablets vor Ort durchgeführt.

Am Tablet wird ein Teil des Frontends wiederspiegelt. Anhand des Modells werden die Schäden am Bauteil aufgenommen, dokumentiert, kommentiert und mithilfe von Checklisten kategorisiert. Bilder der Schäden werden mit dem Tablet erstellt und direkt digital am Bauteil verortet. Setzt sich das As-built Modell aus mehreren Teilmodellen zusammen, so werden diese im Viewer kombiniert dargestellt (Bild 7-16).



Bild 7-16: Beispielhafte Ansicht am Tablet

6. Erstellung des Prüfberichts und Auswertung (Bilder 7-17 bis 7-20)

Die über das Tablet aufgenommenen Schäden und Informationen können bei Bedarf über das Frontend am PC bearbeitet werden. Über eine hinterlegte Berichtsvorlage werden die Informationen automatisiert in eine Berichtsform gebracht.

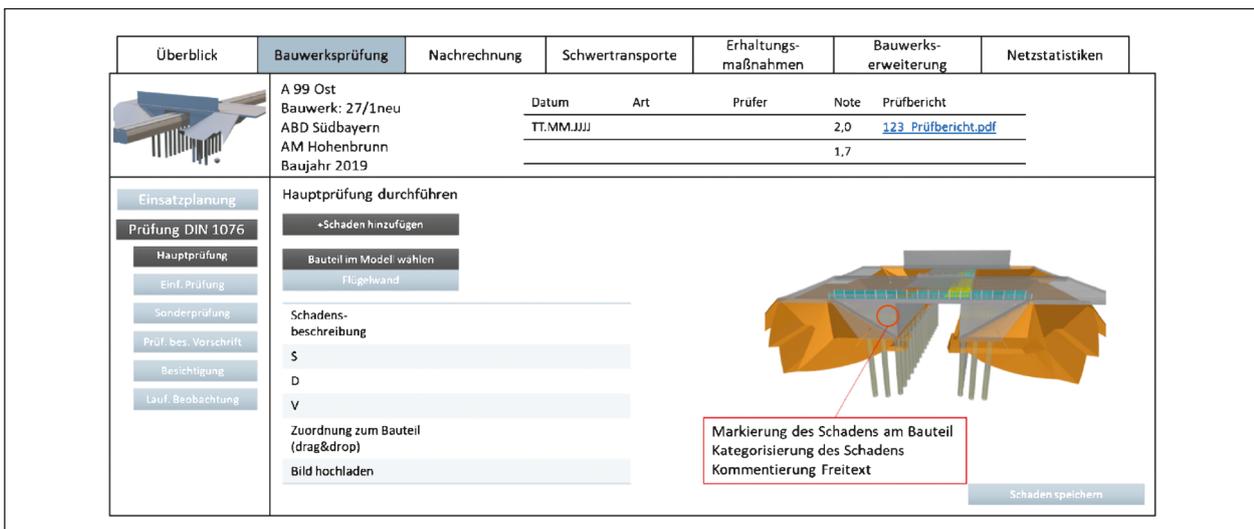


Bild 7-17: Mögliche Nachbearbeitung am PC oder Tablet

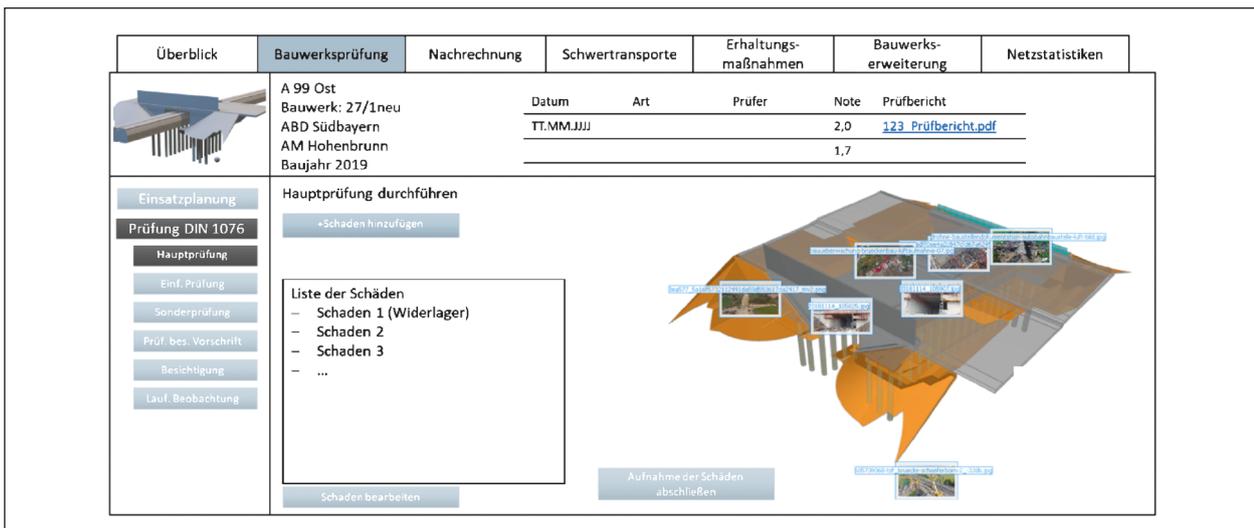


Bild 7-18: Mögliche Nachbearbeitung am PC oder Tablet

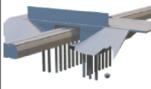
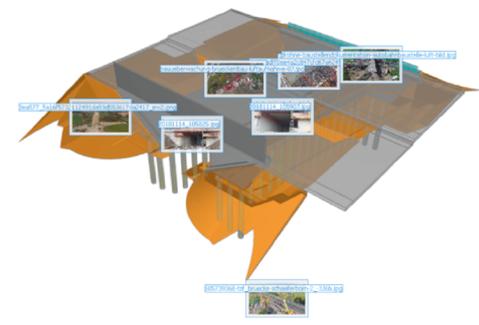
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																																				
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht																																			
			TT.MM.JJJJ			2,0	123_Prüfbericht.pdf																																			
						1,7																																				
Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung	Bewertung Details Bewertung Details erzeugen																																									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bauteilgruppe</th> <th>Substanzkennzahl</th> <th>Bauteilgruppe erfasst</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Überbau</td> <td>1,8</td> <td>1,8</td> <td>JA</td> </tr> <tr> <td>Unterbau</td> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>JA</td> </tr> <tr> <td>Bauwerk</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>NEIN</td> </tr> <tr> <td>Gründung</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>NEIN</td> </tr> <tr> <td>Erd- und Felsanker</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>NEIN</td> </tr> <tr> <td>Lager</td> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>JA</td> </tr> <tr> <td>Fahrbahnübergang</td> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>JA</td> </tr> <tr> <td>Kappen</td> <td>1,3</td> <td>1,3</td> <td>JA</td> </tr> </tbody> </table> Bewertung Details speichern	Bauteil	Bauteilgruppe	Substanzkennzahl	Bauteilgruppe erfasst	Überbau	1,8	1,8	JA	Unterbau	1,0	1,0	JA	Bauwerk	--	--	NEIN	Gründung	--	--	NEIN	Erd- und Felsanker	--	--	NEIN	Lager	1,0	1,0	JA	Fahrbahnübergang	1,0	1,0	JA	Kappen	1,3	1,3	JA				
Bauteil	Bauteilgruppe	Substanzkennzahl	Bauteilgruppe erfasst																																							
Überbau	1,8	1,8	JA																																							
Unterbau	1,0	1,0	JA																																							
Bauwerk	--	--	NEIN																																							
Gründung	--	--	NEIN																																							
Erd- und Felsanker	--	--	NEIN																																							
Lager	1,0	1,0	JA																																							
Fahrbahnübergang	1,0	1,0	JA																																							
Kappen	1,3	1,3	JA																																							

Bild 7-19: Bewertung der einzelnen Bauteile

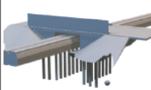
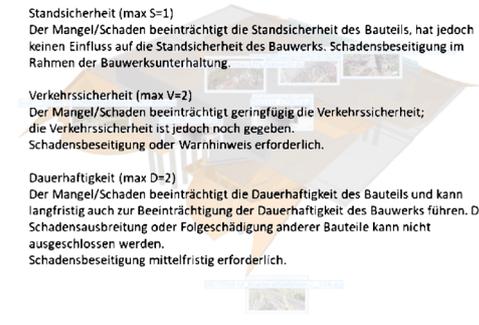
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken	
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht
			TT.MM.JJJJ			2,0	123_Prüfbericht.pdf
						1,7	
Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung	Bewertung allgemein Zustandsnote 1,0						
		Allgemeines Das Bauwerk befindet sich in einem ausreichenden Zustand.	Standsicherheit (max S=1) Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils, hat jedoch keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Bauwerks. Schadensbeseitigung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung.				
		Wesentliche Mängel keine	Verkehrssicherheit (max V=2) Der Mangel/Schaden beeinträchtigt geringfügig die Verkehrssicherheit; die Verkehrssicherheit ist jedoch noch gegeben. Schadensbeseitigung oder Warnhinweis erforderlich.				
		Instandsetzungsarbeiten „umgehend“ Keine	Dauerhaftigkeit (max D=2) Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils und kann langfristig auch zur Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks führen. Die Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile kann nicht ausgeschlossen werden. Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich.				
		Instandsetzungsarbeiten „kurzfristig“ Keine					
		Instandsetzungsarbeiten „mittelfristig“ Keine					
		Instandsetzungsarbeiten „langfristig“ Keine					
		Bewertung allgemein speichern					

Bild 7-20: Durchführung der Bewertung allgemein

7. Einreichen des Prüfberichts (Bilder 7-21 bis 7-23)

Der digitale Prüfbericht kann über das Frontend am PC digital signiert und eingereicht werden. Er wird in die Datenbank gespeichert. Nach Einreichung des Prüfberichts kann dieser durch den Prüfer nicht mehr ohne weiteres verändert werden.

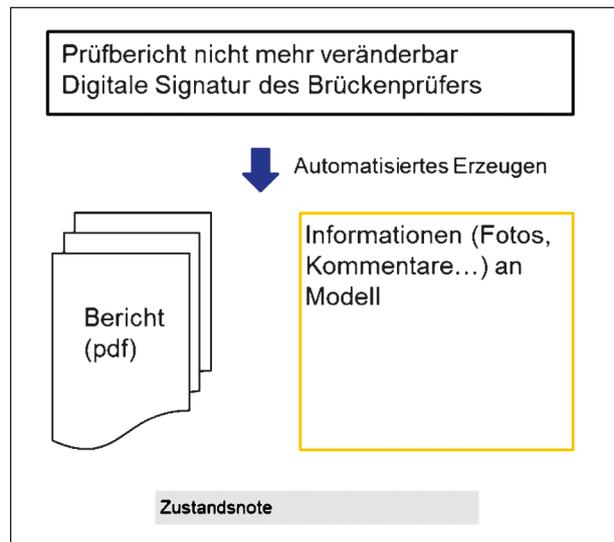


Bild 7-21: Schema Einreichung Prüfbericht

Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datum</th> <th>Art</th> <th>Prüfer</th> <th>Note</th> <th>Prüfbericht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TT.MM.JJJJ</td> <td></td> <td></td> <td>2,0</td> <td>123 Prüfbericht.pdf</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,7</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht	TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf				1,7					
		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht																
TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf																		
			1,7																			
<ul style="list-style-type: none"> Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung 	<ul style="list-style-type: none"> Prüfbericht einreichen Digitale Signatur Prüfbericht einreichen Bericht drucken 																					

Bild 7-22: Mögliche Darstellung zur Einreichung des Prüfberichts – Übersicht

Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datum</th> <th>Art</th> <th>Prüfer</th> <th>Note</th> <th>Prüfbericht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TT.MM.JJJJ</td> <td></td> <td></td> <td>2,0</td> <td>123 Prüfbericht.pdf</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,7</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht	TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf				1,7					
		Datum	Art	Prüfer	Note	Prüfbericht																
TT.MM.JJJJ			2,0	123 Prüfbericht.pdf																		
			1,7																			
<ul style="list-style-type: none"> Einsatzplanung Prüfung DIN 1076 Hauptprüfung Einf. Prüfung Sonderprüfung Prüf. bes. Vorschrift Besichtigung Lauf. Beobachtung 	<ul style="list-style-type: none"> Prüfbericht einreichen Digitale Signatur Prüfbericht einreichen Bericht drucken 	<p style="color: red; font-weight: bold;">Achtung!</p> <p style="color: red; font-weight: bold;">Mit dem Einreichen des Prüfberichts sind die Eingaben nicht mehr veränderbar.</p>																				

Bild 7-23: Mögliche Darstellung zur Einreichung des Prüfberichts

Datengrundlagen (Bild 7-24)

Informationen	Datenquelle					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ Daten dig. Bauwerksakte	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	
Legende: x -erforderliche Informationen						Bauwerksprüfung
Abnahmeniederschrift			x			
Amt	x					
Art				x		
Baujahr	x					
Baulast	x					
Bauwerksstatik			x			
Breite				x		
Brückenfläche				x		
Brückenklasse	x					
Checklisten			x			
Datum der letzten Hauptprüfung	x					
Datum der letzten Prüfung	x					
Datum der nächsten geplanten Prüfung	x					
Durchgeführte Sanierungen			x			
Erforderliche Verkehrssperrungen	x	x				
Erforderlichen Besichtigungstechnik	x	x				
Erforderlichen Prüfgeräten	x	x				
Felder				x		
Fotos			x			
Gesamtlänge				x		
Gutachten			x			
Konstruktion				x		
Lagekoordinaten				x	x	
MLC RJK	x					
Ort				x	x	
Prüfberichte			x			
Prüfung durchgeführt durch	x					
Querschnitt HTW				x		
Querschnitt Überbau				x		
SM	x					
Spezielle Prüfanweisungen	x					
Statisches System Längs				x		
Statisches System Quer				x		
Stützweiten				x		
UI/UA	x					
Winkel				x		
Zustandsnote der letzten Hauptprüfung	x					
Zustandsnote der letzten Prüfung	x					

Bild 7-24: Datengrundlagen für den Anwendungsfall Bauwerksprüfung

Datenoutput (Bild 7-25 und Bild 7-26)

Informationen	Datenquelle Output					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerksakte	Informationen ins Modell	GIS-Informationen	
Legende: x - erzeugte Informationen						Bauwerksprüfung
Art der nächsten Hauptprüfung				x		
Basiszustandszahl (BZZ)				x		
Bauwerkstemperatur Steg (Ts)				x		
Bauwerkstemperatur Unterkante (Tu)				x		
Bauwerkstemperatur Unterkante Kragarm (To)				x		
Bemerkungen				x		
Datum der nächsten Einfachen Prüfung				x		
Datum der nächsten Sonderprüfung				x		
Datum nächste Hauptprüfung				x		
Dienststelle, Prüfer				x		
Fotos				x		
Lfd. Nummer	x					
Maßnahmenempfehlung				x		
Maximale Schadensbewertung				x		
Menge allg.				x		
Notwendigkeit einer Kontrolle bei der einfachen Prüfung				x		
Ortsangabe hoch				x		
Ortsangabe längs				x		
Ortsangabe quer				x		
Personal	x					
Prüfanweisung	x					
Prüfart				x		
Prüfberichte			x			
Prüfjahr				x		
Prüfpflicht	x					
Prüftext				x		
Prüfumfang: Einfache Prüfung	x					
Prüfumfang: Erweiterte HP	x					
Prüfumfang: Fachspezifische OSA[1]	x					
Prüfumfang: Hauptprüfung	x					
Prüfumfang: lfd. Besichtigung	x					
Prüfung des Lichtraumprofils	x					
Prüfung elektrischer Einrichtung	x					
Prüfung maschineller Einrichtungen	x					
Prüfungsabschluss				x		
Prüfungsbeginn				x		
Rissart				x		

Bild 7-25: Datenoutput des Anwendungsfalls Bauwerksprüfung, Teil 1

Informationen	Datenquelle Output					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerksakte	Informationen ins Modell	GIS-Informationen	
Legende: x - erzeugte Informationen						Bauwerksprüfung
Schadensanzahl				x		
Schadensart				x		
Schadensbewertung (S)				x		
Schadensbewertung (V)				x		
Schadensbewertung(D)				x		
Schadensbilder				x		
Schadensdurchmesser				x		
Schadensfläche				x		
Schadenslänge				x		
Schadensmarkierungen				x		
Schadensskizzen				x		
Schadensveränderung				x		
Setzungsmessung	x					
Substanzkennzahl (Bauteilgruppe/Teilbauwerk)				x		
Tauchereinsatz	x					
Wetterlage				x		
Zugangstechnik	x					
Zustandsnote der Bauteilgruppe				x		
Zustandsnote des Teilbauwerks				x		

Bild 7-26 Datenoutput des Anwendungsfalls Bauwerksprüfung, Teil 2

Modellinformationen (Bild 7-27)

Informationen	Bauteile												Anwendungsfall				
	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Felsanker	Lager	Fahrbahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen		Gestaltungen	Leitungen	Oberflächenschutzsysteme	
Legende:																	
x - Information/ Attribut im Modell																	
o - Verlinkung mit dem Modell bzw. mit einzelnen Bauteilen des Modells																	
Abnahmeniederschrift	o																
Art	x																
Art der nächsten Hauptprüfung	o																
Basiszustandszahl (BZZ)	o																
Bauwerksstatik	o																
Bauwerkstemperatur Steg (Ts)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bauwerkstemperatur Unterkante (Tu)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bauwerkstemperatur Unterkante Kragarm (To)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bemerkungen		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Breite	x																
Brückenfläche	x																
Datum der nächsten Einfachen Prüfung	o																
Datum der nächsten Sonderprüfung	o																
Datum nächste Hauptprüfung	o																
Dienststelle, Prüfer	o																
Felder	x																
Fotos		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Gesamtlänge	x																
Gutachten	o																
Konstruktion	x																
Lagekoordinaten	x																
Maßnahmenempfehlung		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Maximale Schadensbewertung	o																
Menge allg.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Notwendigkeit einer Kontrolle bei der einfachen Prüfung		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ort	x																
Ortsangabe hoch		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ortsangabe längs		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ortsangabe quer		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Prüfart	o																
Prüfberichte	o																
Prüfjahr	o																
Prüftext	o																
Prüfungsabschluss	o																
Prüfungsbeginn	o																
Querschnitt HTW	x																
Querschnitt Überbau	x																
Rissart		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensanzahl		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensart		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensbewertung (S)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensbewertung (V)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensbewertung(D)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensbilder		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Schadensdurchmesser		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensfläche		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadenslänge		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schadensmarkierungen		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Schadensskizzen		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Schadensveränderung		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Statisches System Längs	x																
Statisches System Quer	x																
Stützweiten	x																
Substanzkennzahl (Bauteilgruppe/Teilbauwerk)	o																
Wetterlage		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Winkel	x																
Zustandsnote der Bauteilgruppe	o																
Zustandsnote des Teilbauwerks	o																

Bild 7-27: Modellinformationen des Anwendungsfalls Bauwerksprüfung

7.3 AwF Nachrechnung

Ziel des Anwendungsfalls

Der immer noch andauernde Zuwachs des Straßengüterverkehrs kann für Brücken eine Nutzungsänderung darstellen, was dazu führt, dass „für jede einzelne der betroffenen Brücken zu prüfen ist, ob sie den Anforderungen des heutigen und zukünftigen Schwerverkehrs noch genügt“ (COLDITZ 2013, FISCHER et al. 2014). Diese Prüfung kann auf Grundlage der Nachrechnungslinie (NR-Rili) erfolgen.

Durch eine modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls in dem oben beschriebenen verlinkten System können zum einen die notwendigen Informationen objektorientiert kombiniert werden. Des Weiteren können mithilfe von Laserscandaten

sowie den Ergebnissen aus Prüfberichten möglichst genaue Angaben zum Bauwerk und seinem Zustand gemacht werden, welche als Grundlage für die Berechnung dienen können.

Modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls

1. Vorbereitung (Bild 7-28)

Alle für die Nachrechnung erforderlichen Bestandsunterlagen werden über das Frontend zur Verfügung gestellt.

2. Festlegung des Zielniveaus (Bild 7-29)

Die Festlegung des Zielniveaus erfolgt durch die Straßenbauverwaltung und wird in das Frontend eingetragen.

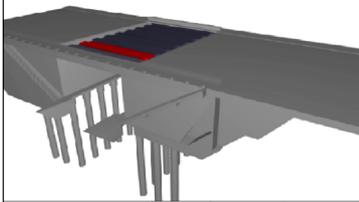
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																																													
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen			Model	Punktwolke	Fotos																																													
...	Amt	ABD Südbayern	Art																																																
...	SM	AM Hohenbrunn	Stat. Sys. L	<table border="1"> <tr><td>Detailplan_xy.pdf</td><td>Eigenheit</td><td>Wert</td></tr> <tr><td>Protokoll_xy.pdf</td><td>Bausort</td><td>Spannort</td></tr> <tr><td>Ansicht_xy.pdf</td><td>Baubestimmung</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Schnitt_xy.pdf</td><td>Störgröße</td><td>0,000</td></tr> <tr><td></td><td>Störzahl</td><td>0,000</td></tr> <tr><td></td><td>Bewehrungsgrad</td><td>17,30</td></tr> <tr><td></td><td>Stapelnummer</td><td>12.194.2101.04.03.03.1A</td></tr> <tr><td></td><td>IFC_Serialklasse</td><td>#Baan</td></tr> <tr><td></td><td>Klassifikation</td><td>Festgut</td></tr> <tr><td></td><td>LCO</td><td>400</td></tr> <tr><td></td><td>Lebensphase</td><td>Neubau</td></tr> <tr><td></td><td>Modellwert</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td></td><td>Statistikverfügbar</td><td>nein</td></tr> <tr><td></td><td>Statistikverfügbar</td><td>12.194.2101.04.03.03.1A</td></tr> <tr><td></td><td>Wähler</td><td>11,58</td></tr> </table>			Detailplan_xy.pdf	Eigenheit	Wert	Protokoll_xy.pdf	Bausort	Spannort	Ansicht_xy.pdf	Baubestimmung	N_FTE_SA	Schnitt_xy.pdf	Störgröße	0,000		Störzahl	0,000		Bewehrungsgrad	17,30		Stapelnummer	12.194.2101.04.03.03.1A		IFC_Serialklasse	#Baan		Klassifikation	Festgut		LCO	400		Lebensphase	Neubau		Modellwert	N_FTE_SA_02		Statistikverfügbar	nein		Statistikverfügbar	12.194.2101.04.03.03.1A		Wähler	11,58
Detailplan_xy.pdf	Eigenheit	Wert																																																	
Protokoll_xy.pdf	Bausort	Spannort																																																	
Ansicht_xy.pdf	Baubestimmung	N_FTE_SA																																																	
Schnitt_xy.pdf	Störgröße	0,000																																																	
	Störzahl	0,000																																																	
	Bewehrungsgrad	17,30																																																	
	Stapelnummer	12.194.2101.04.03.03.1A																																																	
	IFC_Serialklasse	#Baan																																																	
	Klassifikation	Festgut																																																	
	LCO	400																																																	
	Lebensphase	Neubau																																																	
	Modellwert	N_FTE_SA_02																																																	
	Statistikverfügbar	nein																																																	
	Statistikverfügbar	12.194.2101.04.03.03.1A																																																	
	Wähler	11,58																																																	
	Konstrukt.	1F-SpBfTmOB-Ra	Stat. Sys. Q																																																
	Brkl.	LMM	Stat. Sys. Q																																																
	MLC R K	100/50 100/50	Bst. Üb																																																
	Baujahr	2019	Spann																																																
	UI/UA	UI/UA bei SBV	beton																																																
	Baulast	Bund	Q.ÜBB																																																
	T-Index	I	Mehr																																																
			stegiger																																																
			Voll																																																
			querschnitt																																																
			Q.HTW																																																
			Mit																																																
			Querschnitt																																																
			des																																																
			Überbaus																																																
			identisch																																																
			Felder																																																
			1																																																
			Stw.																																																
			14,00 m																																																
			Ges.länge																																																
			14,17 m																																																
			Breite																																																
			24,75 m																																																
			Br.Fläche																																																
			351 m²																																																
			Winkel																																																
			89,90 - Links gon																																																

Bild 7-28: Bereitstellung der erforderlichen Unterlagen

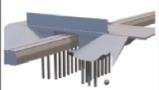
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken
	A 99 Ost Bauwerk: 27/1 neu ABD Südbayern AM Hohenbrunn Baujahr 2019					Netzstatistiken
Zielniveau	Zielniveau eingeben					
Laserscan	Zielniveau LM 1					
Nachrechnung	Zielniveau speichern					
Dokumentation						

Bild 7-29: Auswählen des Vorgangs „Zielniveau festlegen“ und Eintragen des Zielniveaus in das Frontend



Bild 7-30: Upload Punktwolke

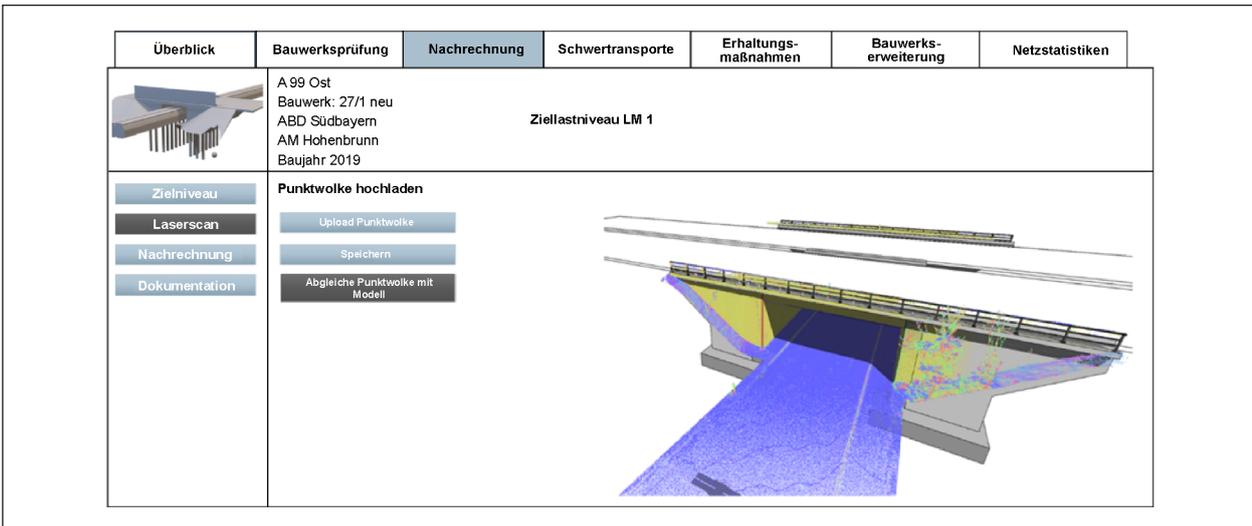


Bild 7-31: Abgleich der Punktwolke mit dem Modell

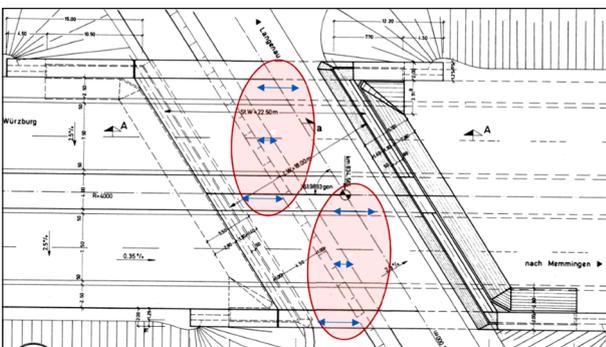


Bild 7-32: Beispielhafte Skizze aus einer konventionellen Prüf-anweisung

3. Erstellung eines Laserscans (Bild 7-30)

Zum Zeitpunkt der Nachrechnung ist bei Bedarf ein Laserscan des Bauwerks zu erstellen. Die daraus entstehende Punktwolke dient dann als Berechnungsgrundlage für die Nachrechnung.
4. Durchführung der Nachrechnung (Bild 7-31 und Bild 7-32)
 - a) Manueller oder teilautomatisierter Abgleich der Punktwolken aus dem As-built Bauwerk mit der des zum Zeitpunkt der Nachrechnung erstellten Scans und Ermittlung der Abweichungen zur Bewertung der geometrischen Veränderungen des Bauwerks.

- b) Eintragung der Auswertungsergebnisse in das BIM-Modell
- c) Verwendung des BIM-Modells als Berechnungsgrundlage oder
- d) Konventionelle Durchführung der Nachrechnung außerhalb der Plattform
- e) Hochladen der Nachrechnung auf die Plattform

5. Dokumentation der Nachrechnung (Bild 7-33)

Die Ergebnisse der Dokumentation werden hochgeladen und von der Plattform aus in SIB-Bauwerke gespeichert. Dies schließt insbesondere auch spezifische Prüfanweisungen mit Verortung von Überwachungsstellen und Prüferintervallen mit ein. Die Prüfanweisungen werden bislang i. d. R. durch Prüfskizzen unterstützt. Modellbasiert können die besonders zu überwachenden Bereiche aber direkt am Modell gekennzeichnet und mit Anweisungen versehen werden.

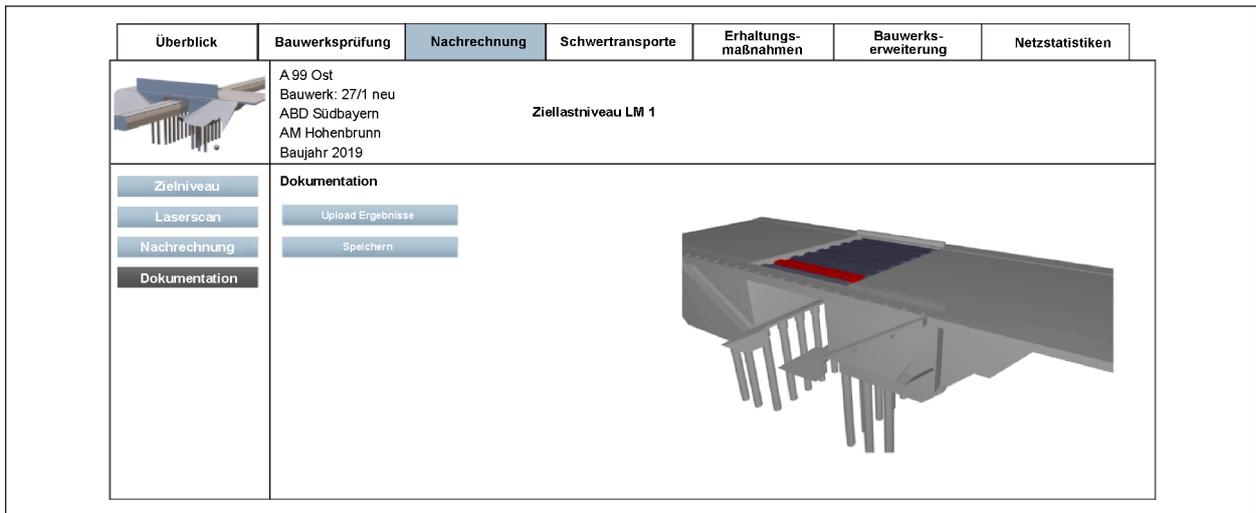


Bild 7-33: Dokumentation der Nachrechnung, Upload der Ergebnisse

Datengrundlagen (Bild 7-34 und Bild 7-35)

Informationen	Datenquelle					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ Daten dig. Bauwerksakte	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	Nachrechnung
Legende: x -erforderliche Informationen						
Amt	x					
Anzahl der Lamellen				x		
Art				x		
Art der Verpressung				x		
Ausführungspläne			x			
Baujahr	x					
Baulast	x					

Bild 7-34: Datengrundlagen für den Anwendungsfall Nachrechnung, Teil 1

Informationen	Datenquelle					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ Daten dig. Bauwerksakte	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	
Legende: x -erforderliche Informationen						Nachrechnung
Bauwerksstatik			x			
Bestandspläne			x			
Betondeckung planm.				x		
Breite				x		
Brückenfläche				x		
Brückenklasse	x					
Datum der letzten Hauptprüfung	x					
Datum der letzten Prüfung	x					
Datum der nächsten geplanten Prüfung	x					
Durchgeführte Sanierungen			x			
Felder				x		
Fotos			x			
Gesamtdehnweg				x		
Gesamtlänge				x		
Gutachten			x			
Herstelldatum				x		
Herstellverfahren				x		
Konstruktion				x		
Lagekoordinaten				x	x	
Lagerungsart				x		
MLC R K	x					
Ort				x	x	
Prüfberichte			x			
Prüfung durchgeführt durch	x					
Punktwolke des Bauwerk "as built"			x			
Punktwolke des Bauwerks zum Zeitpunkt X						
Querschnitt HTW				x		
Querschnitt Überbau				x		
SM	x					
Spannkraft				x		
Spannprotokolle			x			
Spannverfahren				x		
Statisches System Längs				x		
Statisches System Quer				x		
Stützweiten				x		
U/UA	x					
Verankerung				x		
Vorspannrichtung				x		
Winkel				x		
Zustandsnote der letzten Hauptprüfung	x					
Zustandsnote der letzten Prüfung	x					

Bild 7-35: Datengrundlagen für den Anwendungsfall Nachrechnung, Teil 2

Datenoutput (Bild 7-36)

Informationen	Datenquelle Output					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerksakte	Informationen ins Modell	GIS-Informationen	
Legende: x - erzeugte Informationen						Nachrechnung
Dokumentation			x			
Punktwolke des Bauwerks zum Zeitpunkt X			x			

Bild 7-36: Datenoutput des Anwendungsfalls Nachrechnung

Modellinformationen (Bild 7-37)

Informationen	Bauteile												Anwendungsfall			
	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Felsanker	Lager	Fahrbahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen		Gestaltungen	Leitungen	Oberflächenschutzsysteme
Legende: x - Information/ Attribut im Modell o - Verlinkung mit dem Modell bzw. mit einzelnen Bauteilen des Modells																Nachrechnung
Anzahl der Lamellen							x									
Art	x															
Art der Verpressung				x												
Ausführungspläne		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Bauwerksstatik	o															
Bestandspläne		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Betondeckung planm.		x	x		x											
Breite	x															
Brückenfläche	x															
Dokumentation	o															
Felder	x															
Fotos		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Gesamtdehnweg							x									
Gesamtlänge	x															
Gutachten	o															
Herstelldatum		x														
Herstellverfahren		x														
Konstruktion	x															
Lagekoordinaten	x															
Lagerungsart						x										
Ort	x															
Prüfberichte	o															
Punktwolke des Bauwerk "as built"	o															
Punktwolke des Bauwerks zum Zeitpunkt X	o															
Querschnitt HTW	x															
Querschnitt Überbau	x															
Spannkraft				x												
Spannprotokolle				o												
Spannverfahren				x												
Statisches System Längs	x															
Statisches System Quer	x															
Stützweiten	x															
Verankerung									x							
Vorspannrichtung				x												
Winkel	x															

Bild 7-37: Modellinformationen des Anwendungsfalls Nachrechnung

7.4 AwF Schwertransporte

Ziel des Anwendungsfalls

Zur Beurteilung der Befahrbarkeit eines Bauwerkes für Schwertransporte ist aufgrund der verschiedenen Bemessungsvorschriften, welche zum jeweiligen Zeitpunkt der Errichtung des Bauwerkes angesetzt wurden, eine Nachrechnung der Bauwerke erforderlich.

Mit dem Einsatz von BIM können für die Nachrechnungen der Bauwerke zur Nutzung für Schwertransporte vor allem die transparente Datengrundlage eine effizientere Bearbeitung ermöglichen.

Modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls

1. Vorbereitung (Bild 7-38)

Alle für die Nachrechnung zur Nutzung für Schwertransporte erforderlichen Bestandsunterlagen werden über das Frontend zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse der Berechnung werden auf die Plattform hochgeladen.

2. Berechnungsstufe I

3. Berechnungsstufe II

4. Berechnungsstufe III

BIM bietet hier eine Chance, durch genauere Systemangaben eine deutlich verbesserte Basis darzustellen. Dies erfordert jedoch eine Weiterentwicklung des Systems für die Bewertung von Bauwerken für Schwertransporte in Stufe I.

Für die weiteren Stufen II und III gleichen die Potenziale von BIM jenen für den Anwendungsfall „Nachrechnung“.

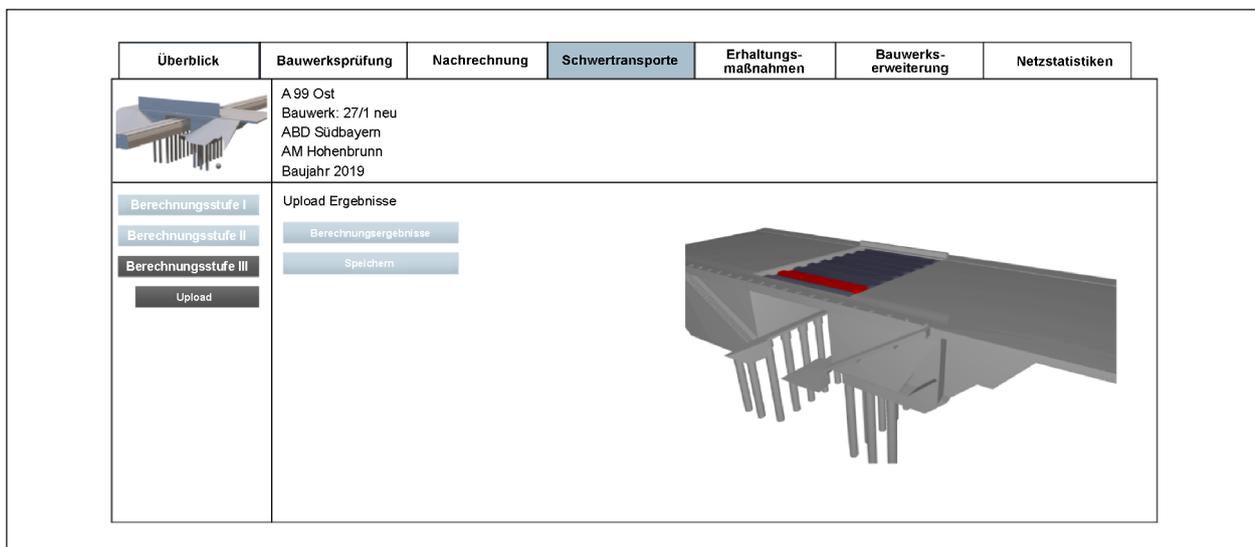


Bild 7-38: Upload der Berechnungsergebnisse

Datengrundlagen (Bild 7-39)

Informationen	Datenquelle					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ Daten dig. Bauwerksakte	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	
Legende: x -erforderliche Informationen						Schwertransporte
Amt	x					
Art				x		
Baujahr	x					
Baulast	x					
Bauwerksstatik			x			
Breite				x		
Brückenfläche				x		
Brückenklasse	x					
Datum der letzten Hauptprüfung	x					
Datum der letzten Prüfung	x					
Datum der nächsten geplanten Prüfung	x					
Durchgeführte Sanierungen			x			
Felder				x		
Fotos			x			
Gesamtlänge				x		
Gutachten			x			
Konstruktion				x		
Lagekoordinaten				x	x	
MLC RJK	x					
Ort				x	x	
Prüfberichte			x			
Prüfung durchgeführt durch	x					
Punktwolke des Bauwerk "as built"			x			
Punktwolke des Bauwerks zum Zeitpunkt X						
Querschnitt HTW				x		
Querschnitt Überbau				x		
SM	x					
Spannprotokolle			x			
Statisches System Längs				x		
Statisches System Quer				x		
Stützweiten				x		
UI/UA	x					
Winkel				x		
Zustandsnote der letzten Hauptprüfung	x					
Zustandsnote der letzten Prüfung	x					

Bild 7-39: Dateninput des Anwendungsfalls Schwertransporte

Datenoutput (Bild 7-40)

Informationen	Datenquelle Output					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerksakte	Informationen ins Modell	GIS-Informationen	
Legende: x - erzeugte Informationen						
Dokumentation			x			Schwertransporte
Punktwolke des Bauwerks zum Zeitpunkt X			x			

Bild 7-40: Datenoutput des Anwendungsfalls Schwertransporte

Modellinformationen (Bild 7-41)

Informationen	Bauteile														Anwendungsfall	
	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Felsanker	Lager	Fahrbahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen	Gestaltungen	Leitungen		Oberflächenschutzsysteme
Legende: x - Information/ Attribut im Modell o - Verlinkung mit dem Modell bzw. mit einzelnen Bauteilen des Modells																
Art	x															Schwertransporte
Bauwerksstatik	o															
Breite	x															
Brückenfläche	x															
Dokumentation	o															
Felder	x															
Fotos		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Gesamtlänge	x															
Gutachten	o															
Konstruktion	x															
Lagekoordinaten	x															
Ort	x															
Prüfberichte	o															
Punktwolke des Bauwerk "as built"	o															
Punktwolke des Bauwerks zum Zeitpunkt X	o															
Querschnitt HTW	x															
Querschnitt Überbau	x															
Spannprotokolle				o												
Statisches System Längs	x															
Statisches System Quer	x															
Stützweiten	x															
Winkel	x															

Bild 7-41: Modellinformationen des Anwendungsfalls Schwertransporte

7.5 AwF Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen

Ziel des Anwendungsfalls

Ziel des Anwendungsfalls ist die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen zur Maximierung der Lebensdauer eines Bauwerks.

Modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls

1. Planung von Erhaltungsmaßnahmen

Eintragen der geplanten Erhaltungsmaßnahmen in das System. Die Erhaltungsmaßnahmen werden dabei den einzelnen Bauwerken bzw. Bauteilen zugeordnet.

2. Vorbereitung der Erhaltungsmaßnahmen (Bild 7-42)

Überblick über das zu erhaltende Bauwerk schaffen.

3. Dokumentation der Erhaltungsmaßnahmen vor Ort (Bild 7-43)

Am Tablet werden die geplanten Maßnahmen über das Frontend dargestellt. Die Funktionalität des Frontends wird dabei insofern reduziert, dass eine Bedienung per Tablet und Verwendung im Feld sinnvoll möglich ist.

4. Dokumentation der Erhaltungsmaßnahmen vor Ort (Bild 7-44)

Zur Vorausplanung von Erhaltungsmaßnahmen einschließlich deren Budgetierung siehe Anwendungsfall Netzwerkstatistiken.

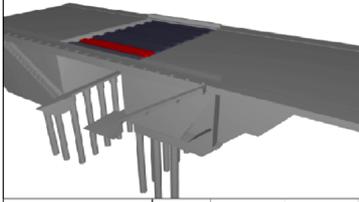
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																														
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen				Model	Punktwolke	Fotos																													
...	Amt	ABD Südbayern	Art	Brücke als geschlossener Rahmen																																
...	SM	AM Hohenbrunn	Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen.Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt																																
...	Konstrukt.	1F-SpBftmOB-Ra	Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen																																
	Brkl.	LMM	Bst. Üb	Spannbetonfertigteile mit Ortbeton																																
	MLC R K	100/50 100/50	Q.ÜBB	Mehrstegiger Vollquerschnitt																																
	Baujahr	2019	Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch																																
	UI/UA	UI/UA bei SBV	Felder	1																																
	Baulast	Bund	Stw.	14,00 m																																
	T-Index	I	Ges.länge	14,17 m																																
			Breite	24,75 m																																
			Br.Fläche	351 m ²																																
			Winkel	89,90 - Links gon																																
					<ul style="list-style-type: none"> Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Eigenschaft</th> <th>Wert</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bausort</td> <td>Spartoten</td> </tr> <tr> <td>Bauabschnung</td> <td>N_FTE_SA</td> </tr> <tr> <td>Eintragsnr.</td> <td>02066</td> </tr> <tr> <td>Eintragsnr.</td> <td>03008</td> </tr> <tr> <td>Bewehrungsgrad</td> <td>17,30</td> </tr> <tr> <td>Baugrubennummer</td> <td>12194.0101.04</td> </tr> <tr> <td>IFC_Sachklasse</td> <td>Strassen</td> </tr> <tr> <td>Klassifikation</td> <td>Festlag</td> </tr> <tr> <td>LOD</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Lebensphase</td> <td>Neubau</td> </tr> <tr> <td>Modellname</td> <td>N_FTE_SA_02</td> </tr> <tr> <td>Statistikverfügbar</td> <td>nein</td> </tr> <tr> <td>Statistikennummer</td> <td>12194.0101.04.03.03.04</td> </tr> <tr> <td>Wähler</td> <td>1158</td> </tr> </tbody> </table>	Eigenschaft	Wert	Bausort	Spartoten	Bauabschnung	N_FTE_SA	Eintragsnr.	02066	Eintragsnr.	03008	Bewehrungsgrad	17,30	Baugrubennummer	12194.0101.04	IFC_Sachklasse	Strassen	Klassifikation	Festlag	LOD	400	Lebensphase	Neubau	Modellname	N_FTE_SA_02	Statistikverfügbar	nein	Statistikennummer	12194.0101.04.03.03.04	Wähler	1158
Eigenschaft	Wert																																			
Bausort	Spartoten																																			
Bauabschnung	N_FTE_SA																																			
Eintragsnr.	02066																																			
Eintragsnr.	03008																																			
Bewehrungsgrad	17,30																																			
Baugrubennummer	12194.0101.04																																			
IFC_Sachklasse	Strassen																																			
Klassifikation	Festlag																																			
LOD	400																																			
Lebensphase	Neubau																																			
Modellname	N_FTE_SA_02																																			
Statistikverfügbar	nein																																			
Statistikennummer	12194.0101.04.03.03.04																																			
Wähler	1158																																			

Bild 7-42: Informationen über das Frontend

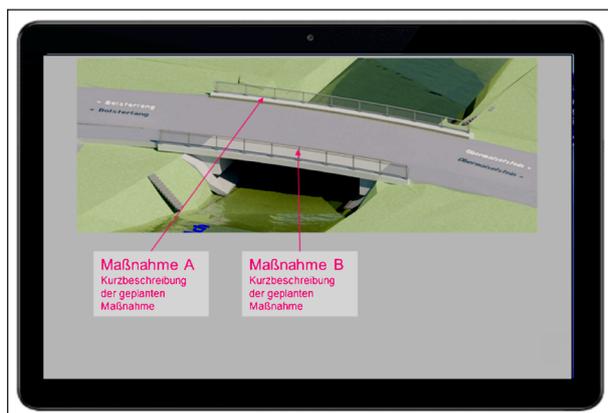


Bild 7-43: Übersicht über die geplanten Erhaltungsmaßnahmen vor Ort

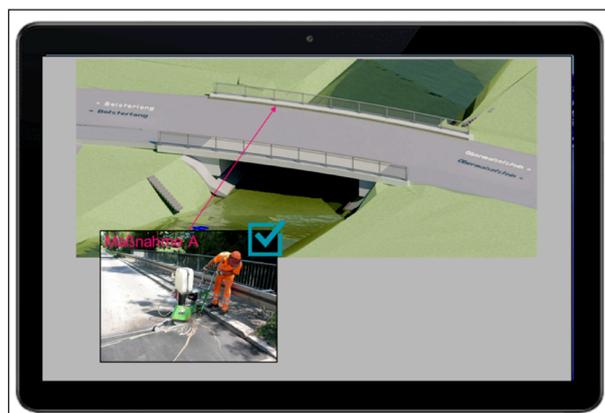


Bild 7-44: Dokumentation der Erhaltungsmaßnahme vor Ort

Datengrundlagen (Bild 7-45)

Informationen	Datenquelle					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ Daten dig. Bauwerksakte	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	Erhaltungsmaßnahmen
Legende: x -erforderliche Informationen						
Abnahmeniederschrift			x			
Angenommener DTV	x					
Fotos			x			
Lebensdauer	x					
Wartungsintervalle	x					
Wartungsmaßnahme	x					

Bild 7-45: Datengrundlage für den Anwendungsfall Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen

Datenoutput (Bild 7-46)

Informationen	Datenquelle Output					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerksakte	Informationen ins Modell	GIS-Informationen	Erhaltungsmaßnahmen
Legende: x - erzeugte Informationen						
Datum der Wartung	x					
Dokumentation			x			
Fotos				x		

Bild 7-46: Datenoutput des Anwendungsfalls Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen

Modellinformationen (Bild 7-47)

Informationen	Bauteile													Anwendungsfall		
	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Felsanker	Lager	Fahrbahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen	Gestaltungen	Leitungen	Oberflächenschutzsysteme	Erhaltungsmaßnahmen
Legende: x - Information/ Attribut im Modell o - Verlinkung mit dem Modell bzw. mit einzelnen Bauteilen des Modells																
Abnahmeniederschrift	o															
Angenommener DTV	o															
Dokumentation	o															
Fotos		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Lebensdauer	o															
Wartungsintervalle	o															
Wartungsmaßnahme		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

Bild 7-47: Modellinformationen des Anwendungsfalls Erhaltungsmaßnahmen

7.6 AwF Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau

Ziel des Anwendungsfalls

Bei der Erweiterung eines Bauwerks in Form von Um- oder Ausbau (einschl. Generalinstandsetzung) wird dieses baulich in seiner Geometrie verändert. Ziel des Anwendungsfalls ist die Umsetzung einer Bauwerkserneuerung, einer Verbreiterung einer Überbauerneuerung oder einer Tragfähigkeitserhöhung.

Der Einsatz von BIM bei diesem Anwendungsfall entspricht weitestgehend dem Anwendungsfall Planung eines Bauwerkes.

Modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls

1. Erfassung der Bestandssituation anhand des As-built Modells und der Digitalen Bauwerksakte.
2. Das As-built Modell wird als Planungsgrundlage verwendet.

3. Modellbasierte Planung der Erweiterung. Dabei wird der zu erweiternde Teil des Bauwerks und alle sich dadurch verändernden Bauteile in einem neuen Modell neu modelliert. Das As-built Modell wird als Referenzgrundlage verwendet.
4. Ersetzte oder veränderte Bauteile werden im As-built Modell als abgebrochen gekennzeichnet bzw. gelöscht.
5. Das neu erstellte Modell sowie das As-built Modell werden zu einem neuen As-built Modell zusammengeführt.
6. Erstellung eines Laserscans zur Erfassung der As-built Situation und Verlinkung des Scans mit dem Modell.

Datengrundlage (Bild 7-48)

Informationen	Datenquelle					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ Daten dig. Bauwerksakte	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	Bauwerkserweiterung
Legende: x -erforderliche Informationen						
Abnahmeniederschrift			x			
Ausführungspläne			x			
Bauwerksstatik			x			
Bestandspläne			x			
Fotos			x			
Spannprotokolle			x			

Bild 7-48: Datengrundlage für den Anwendungsfall Bauwerkserweiterung

Datenoutput (Bild 7-49)

Informationen	Datenquelle Output					Anwendungsfall
	SIB/ Bauwerksbuch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerksakte	Informationen ins Modell	GIS-Informationen	Bauwerkserweiterung
Legende: x - erzeugte Informationen						
Ausführungspläne			x			
Bauwerksstatik			x			
Punktwolke des Bauwerk "as built"			x			
Spannprotokolle			x			

Bild 7-49: Datenoutput des Anwendungsfalls Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau

Modellinformationen (Bild 7-50)

Informationen	Bauteile														Anwendungsfall	
Legende: x - Information/ Attribut im Modell o - Verlinkung mit dem Modell bzw. mit einzelnen Bauteilen des Modells	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Felsanker	Lager	Fahrbahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen	Gestaltungen	Leitungen	Oberflächenschutzsysteme	Bauwerkserweiterung
Abnahmeniederschrift	o															
Ausführungspläne	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Bauwerksstatik	o															
Bestandspläne		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Fotos		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Punktwolke des Bauwerk "as built"	o															
Spannprotokolle				o												

Bild 7-50: Modellinformatinen des Anwendungsfalls Bauwerkserweiterung

7.7 AwF Auswertung von Netzstatistiken

Ziel des Anwendungsfalls

Mit der Auswertung von Netzstatistiken wird das Ziel verfolgt, mehrere Bauwerke, Streckenabschnitte oder Streckennetze zu betrachten, um Zusammenhänge zu erkennen.

Der Anwendungsfall kann, wie in AP 2 beschrieben, in mehreren Bereichen Anwendung finden.

Im Folgenden wird beispielhaft die Anwendung der Auswertung von Schadensentwicklungen und Lebensdauern bei ausgewählten Bauwerks- oder Bauteiltypen betrachtet.

Grundlage für diese Netzauswertung bilden die Ergebnisse der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (siehe Kapitel 7.2). Ziel der Auswertung ist es, Handlungsempfehlungen zur Wartung, Erhaltung (Schadensbeseitigung, Nutzungseinschränkungen oder die Anbringung von Warnhinweisen) und Neu-

planung von Ingenieurbauwerken abzuleiten und die Dringlichkeit der Umsetzungen zu ermitteln.

Die Netzstatistiken dienen dabei als Controlling-Instrument, welches die Realisierung von Zielen und Strategien ermöglicht. Damit können finanzielle Bedarfe und technisch erforderliche Mittel ermittelt und gesteuert werden.

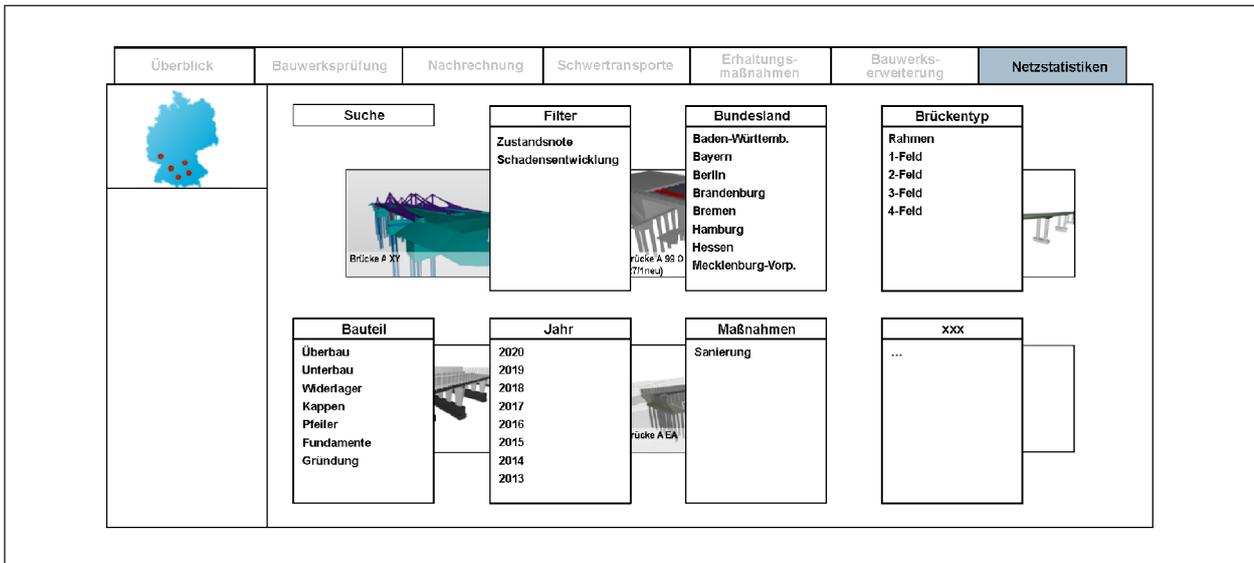


Bild 7-51: Auswahl der zu betrachtenden Bauwerke oder Bauteile

Modellbasierte Durchführung des Anwendungsfalls

1. Abruf der Bauwerke, die gemeinsam betrachtet werden sollen. (Bild 7-51)
2. Analyse des Ist-Zustandes (Bild 7-53)

Mithilfe von definierten Dashboards können die Auswertungen der gewählten Bauwerke einheitlich betrachtet werden, um so einen umfangreichen Überblick über den aktuellen Status der Bauwerke zu erhalten.

Mithilfe von wissenschaftlich gestützten Kennwerten kann daraus eine Erhaltungsstrategie gewählt werden.

3. Erhaltungsplanung (Bild 7-52)

Auf Grundlage der Erhaltungsstrategie für alle Bauwerke ist eine Erhaltungsplanung für jedes einzelne Bauwerk durchzuführen. Die Bausubstanz und Verkehrsbedeutung werden bewertet und die einzelnen Bauwerke in Handlungsstrategien eingeteilt.

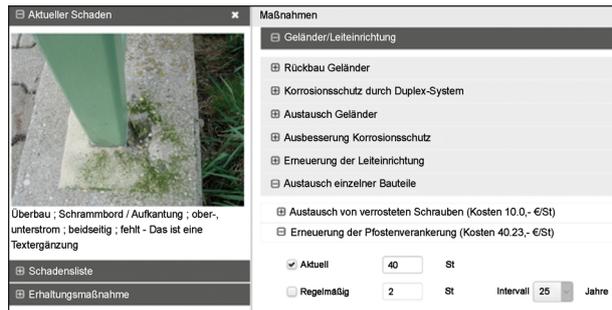


Bild 7-52: Konzeptionelle Darstellung einer Maßnahmendefinition (siehe Kapitel 5.4) aus einer bestehenden Lösung

Datengrundlage

Als Datengrundlage für diesen Anwendungsfall können alle zur Verfügung stehenden Daten verwendet werden. Je mehr Daten zur Verfügung stehen, umso komplexere Auswertungen können durchgeführt werden.

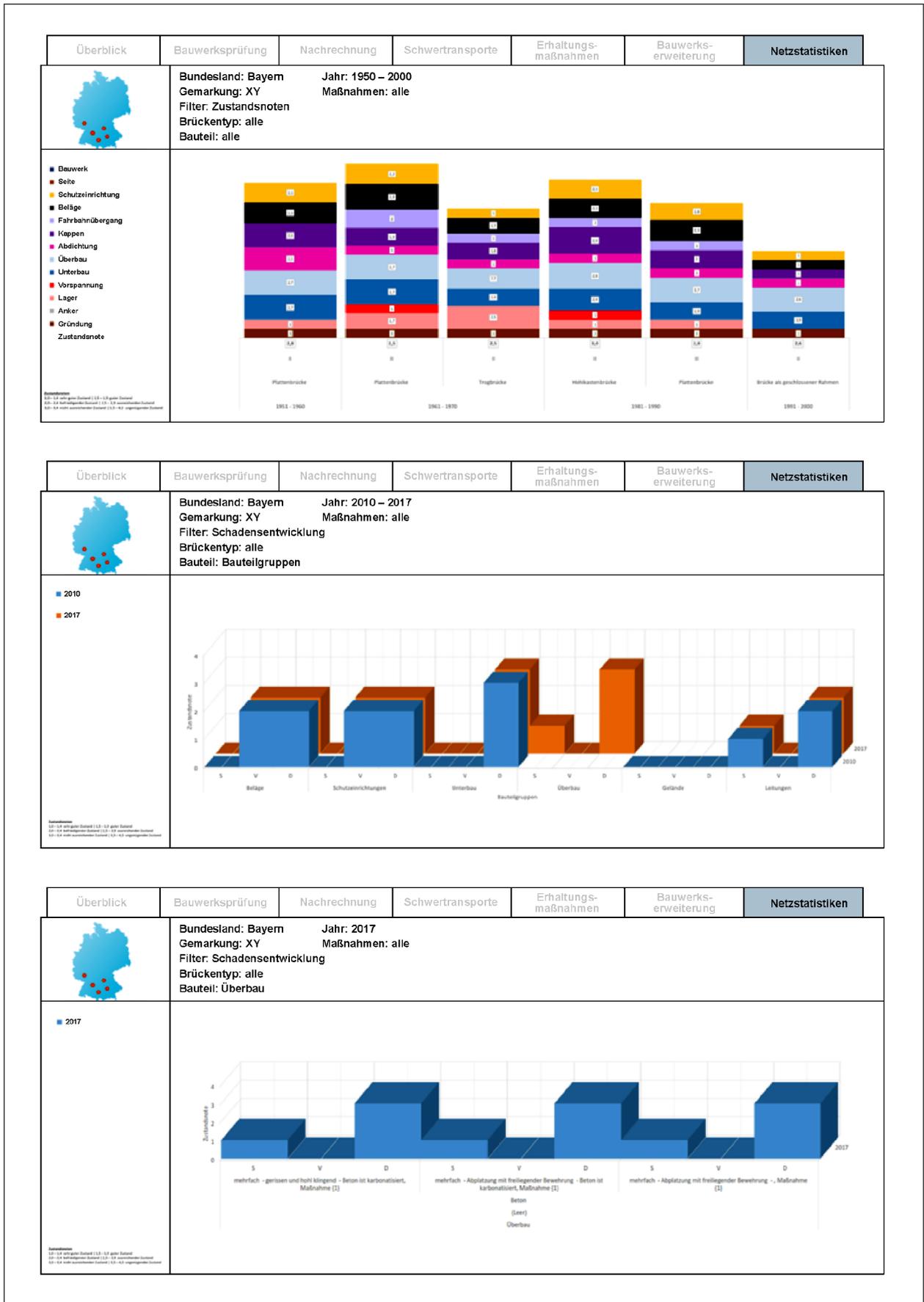


Bild 7-53: Konzeptionelle Darstellung von beispielhaften Auswertungen aus einer bereits bestehenden Lösung



Bild 8-1: BW 27/1 A99 Integration BIM-Modell in GIS-Umgebung

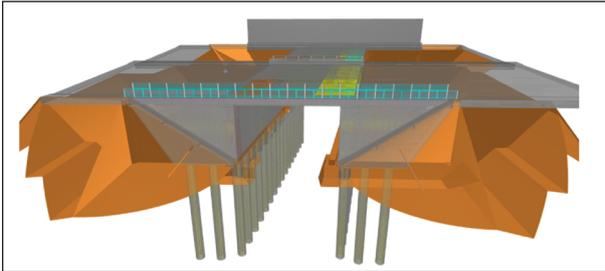


Bild 8-2: BW 27/1 A99 BIM-Modell

neben der Ausführungsplanung in der BIM-Methode auch für die Überführung vom As-planned zum As-built Modell beauftragt. Im Rahmen dieses Auftrages überführt die Konstruktionsgruppe Bauen AG Abweichungen aus den Laserscans in die Modelle und ergänzt zusätzliche Einbauteile (z. B. Koboldanker, Einbauteile aus dem Verbau etc.), Fahrzeugrückhaltesysteme, Lärmschutzwände, Verbau usw. in das As-built Modell. Des Weiteren wird das Modell um Eigenschaften ergänzt, die sich in der Bauphase ergeben haben und wertvoll für den Betrieb des Bauwerkes sein können. Diese Eigenschaften wurden in Workshops gemeinsam mit dem Auftraggeber Autobahndirektion Südbayern, vertreten durch Prof. Willberg, und der Konstruktionsgruppe Bauen AG erarbeitet und am Modell ergänzt.

Alle am Projekt Beteiligten aus den verschiedenen Lebenszyklusphasen des Bauwerkes (Planen, Bauen und Betreiben) hatten bereits Erfahrung in der Umsetzung der BIM-Methode.

Im gewählten Projekt wurden bereits die Phasen Planung und Bau unter Berücksichtigung einer modellbasierten Digitalen Bauwerksakte durchgeführt. Die Informationen aus der Bauausführung, Bauoberleitung und Überwachung werden bereits so erstellt, dass diese erfasst und am Modell verortet werden können.

8.2 Implementierungsschritte der Forschungsergebnisse in das Projekt

Im Zuge der Erstellung des As-built Modelles wurden bereits folgende Schritte durchgeführt:

1. Prüfung der As-planned Modelle mit dem erstellten Laserscan zur Erstellung der As-built Geometrie
2. Ergänzen der erforderlichen Informationen aus der Bauausführung (z. B. Hersteller, Einbauteile etc.)

Das Vorgehen bei der Implementierung der Methode im Projekt gliedert sich in folgende Schritte:

1. Integration der im Forschungsprojekt erstellten Attributtabelle mit den BIM Anwendungsfällen für den Brückenbetrieb und Erhaltung in die bestehenden AIA.
2. Anpassung der Planungsparameter an die Attributvorgaben für Betrieb und Erhaltung.
3. Verknüpfen der Planungsparameter mit den Property Sets für die Nutzung der Daten in Betrieb und Erhaltung.
4. Anlegen der für die Anwendungsfälle des Betriebs und der Erhaltung erforderlichen zusätzlichen Attribute.
5. Prüfung der Modelle anhand der erstellten Prüfregeln auf Vollständigkeit, Werte und Struktur
6. Strukturierung der für den Betrieb erforderlichen Dokumente
7. Regelbasierte Verlinkung der Dokumente mit dem As-built Modell (siehe Bild 8-7)
8. Erstellung einer Digitalen Bauwerksakte in einer softwarespezifischen Demo
9. Erstellung eines standardisierten Übergabepaketes in Form einer Desite Datenbank, welche die IFC-Modelle sowie die darin verlinkten Dokumente enthält.

Im Folgenden werden die einzelnen Implementierungsschritte genauer erläutert.

8.3 Attribuierung der BIM-Modelle und Prüfung der Anforderungen

Entsprechend der in AP 2 entwickelten Anforderungen an die BIM-Modelle für die Umsetzung der definierten Anwendungsfälle in der Betriebs- und Erhaltungsphase wurden in AP 5 Attributtabelle entwickelt. Diese stellen dar, für welche Anwendungsfälle welche Attribute erforderlich sind und an welche Bauteile diese verortet werden. Die vollständige Attributtabelle ist im Anhang 1 zu finden.

Diese Attributtabelle können den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), welche für die Planungs- und Bauphase definiert werden, angehängt werden. So können die Planer während der Planungs- und Bauphase die Attribute berücksichtigen, die in der Erhaltungsphase benötigt werden.

Im Modell des BW 27/1 wurden die bereits vorhandenen Attribute aus der Planungs- und Bauphase hinsichtlich ihrer Bezeichnung mit der Attributtabelle abgeglichen. Abweichende Bezeichnungen wurden entsprechend der Tabelle umbenannt. Die Attribute, welche aufgrund softwaretechnischer Einstellungen

nicht umbenannt werden konnten, wurden in den Attributtabelle umbenannt, um möglichst keine doppelten Informationen vorzuhalten.

Zusätzliche Attribute, welche für die Anwendungsfälle des Betriebs und der Erhaltung erforderlich sind, wurden in die Modelle entsprechend der Tabelle eingepflegt.

Für die Attribute der Anwendungsfälle der Betriebs- und Erhaltungsphase wurde ein eigenes Property Set „Betriebsinformationen“ angelegt, um diese einheitlich strukturiert ablegen zu können.

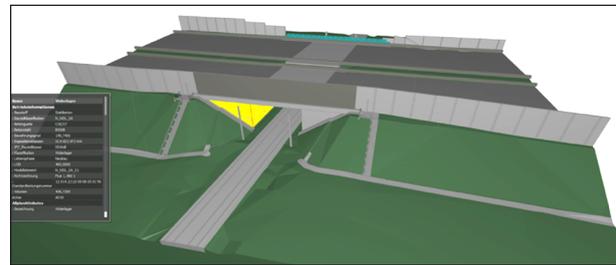


Bild 8-4: Attribute eines Bauteiles des BW 27/1

Informationen	Datengrundlage						Datenoutput						Bauteile																										
	Datenquelle			Anwendungsfall			Datenquelle			Anwendungsfall																													
	SIB/ Bauwerks buch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerks	Informationen aus Modell	GIS-Informationen	Bauwerksprüfung	Schwerttransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerksveränderung	Auswertung von Netzstatik	SIB/ Bauwerks buch	SIB/ Jahresplanung	Dokumente/ dig. Bauwerks	Informationen im Modell	GIS-Informationen	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwerttransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerksveränderung	Auswertung von Netzstatik	Gesamtmodell	Überbau	Unterbau	Vorspannung	Gründung	Erd- und Fehlanker	Lager	Fahrdahnübergänge	Abdichtungen	Kappen	Schutzeinrichtungen	Ausstattungen	Gestaltungen	Leitungen	Oberflächenchutzsysteme			
Ort	x																					x																	
Lagekoordinaten	x																					x																	
Art	x																					x																	
Konstruktion	x																					x																	
Statisches System Längs	x																					x																	
Statisches System Quer	x																					x																	
Querschnitt Überbau	x																					x																	
Querschnitt HTW	x																					x																	
Felder	x																					x																	
Stützweiten	x																					x																	
Gesamtlänge	x																					x																	
Breite	x																					x																	
Brückenfläche	x																					x																	
Winkel	x																					x																	
Vorspannrichtung				x																					x														
Spannkraft				x																					x														
Art der Verpressung				x																					x														
Spannverfahren				x																					x														
Lagerungsart							x																																
Anzahl der Lamellen								x																															
Gesamtdrehweg									x																														
Verankerung										x																													
Betondeckung planm.		x	x		x																		x	x		x													
Herstelldatum		x																					x																
Herstellverfahren		x																					x																
GUID		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Klassifikation		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Name		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Disziplin		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Art nach ASB-ING		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Beschreibung		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Material		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Bemerkungen		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Betongüte		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Bewehrungsgrad		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Betonstahl		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Expositionsklassen		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Volumen		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Bild 8-3: Attributtabelle für Betrieb- und Erhaltung (Auszug)

Für die Prüfung der alphanumerischen Informationen im Modell wurden die in ProperBIM angelegten Attribute über eine Anbindung an das Modellprüfungstool Solibri Office automatisiert geprüft, ohne dass eine manuelle Erstellung der entsprechenden Prüfregele notwendig war.

8.4 Strukturierung der Dokumente und regelbasierte Verlinkung von Daten und Dokumenten

Die Verlinkung von Daten und Dokumenten wurde im Praxisprojekt über Metadaten (Daten, die in einer Datei zusätzlich zum Inhalt gespeichert werden, z. B. Autor, Erstelldatum etc.) und Attribute durchgeführt. Die Metadaten an den Dokumenten können sowohl als Information an den Dokumenten anhängen als auch im Dateinamen der Dokumente beschrieben sein. Die Verlinkung der Dokumente mit den entsprechenden Modelldaten erfolgt über die Metadaten entsprechend gleichartig strukturierter Attribute.

Die Konvention zur Verlinkung setzt sich aus Ortsinformationen und Bauteilinformationen, wie in Bild 8-5 beschrieben, zusammen.

Im Prototyp BW 27/1 wurden die Attribute und Metadaten nach folgendem Beispiel vergeben, um eine regelbasierte Verlinkung herzustellen. Eine vollständige Liste ist dem Anhang 2 zu entnehmen.

8.5 Erstellung einer Digitalen Bauwerksakte in einer softwarespezifischen Demo

Die softwarespezifische Demo wurde hinsichtlich der Verlinkung von Daten und Dokumenten in der Software Desite MD umgesetzt.

Globale Ortskennung		Bauteilkennung				Ort	Dokumentenennung	
ASB-Nummer	Teil-BW-Nr./ Fahrtrichtung	Bauwerksart	Bauteilgruppe	Bauteil	Teilelement	Ort	Dokumentenart	Lfd. Nr.

Bild 8-5: Metadaten zur Verlinkung von Daten und Dokumenten

Bauwerksattribute		Bauteilattribute						
Globale Ortskennung		Bauteilkennung				Ort	Dokumentenennung	
ASB-Nummer	Teil-BW-Nr./ Fahrtrichtung	Bauwerksart	Bauteilgruppe	Bauteil	Teilelement	Ort	Dokumentenart	Lfd. Nr.
1234567	00 Gesamtbauwerk	B Brücke	G Gründung	BOR Bohrpfahl	PFO Geländer Pfosten	A010 Achse 10	SP Schalplan	001
	01 Teilbauwerk 01	L Lärmschutzwand	U Unterbau	WDL Widerlager	HDL Handlauf	A020 Achse 20	BP Bewehrungsplan	002
	02 Teilbauwerk 02	V VZB	Ü Überbau	PFE Pfeiler	B01 Bohrpfahl 01	A030 Achse 30	BS Bestandsplan	
			A Ausstattung	KAP Kappe	BEW Bewehrung	Innen/K010 innen – in Fahrtrichtung	PB Prüfbericht	
			S Schutz- und Leiteinrichtung	GEL Geländer		Außen/K020 außen	PR Protokoll	
			P Pflaster, Platten, Umgebung	LAG Lager		F010 Feld 1	BI Bild/Foto	

Bild 8-6: Auszug Metadatenatz BW 27/1

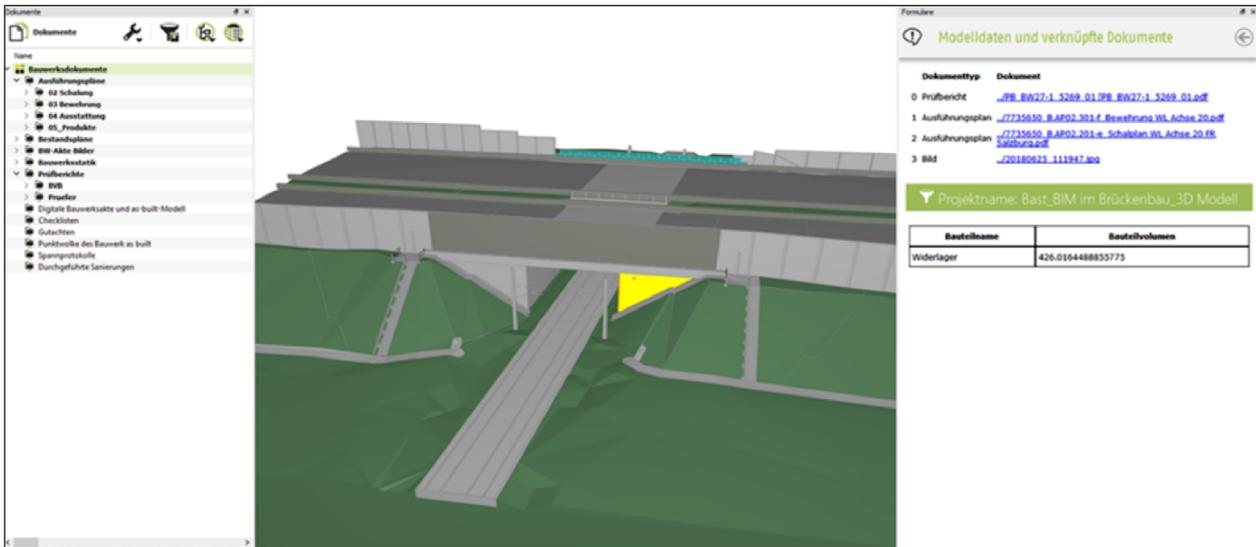


Bild 8-7: Verlinkung von Daten und Dokumenten mit dem As-built Modell

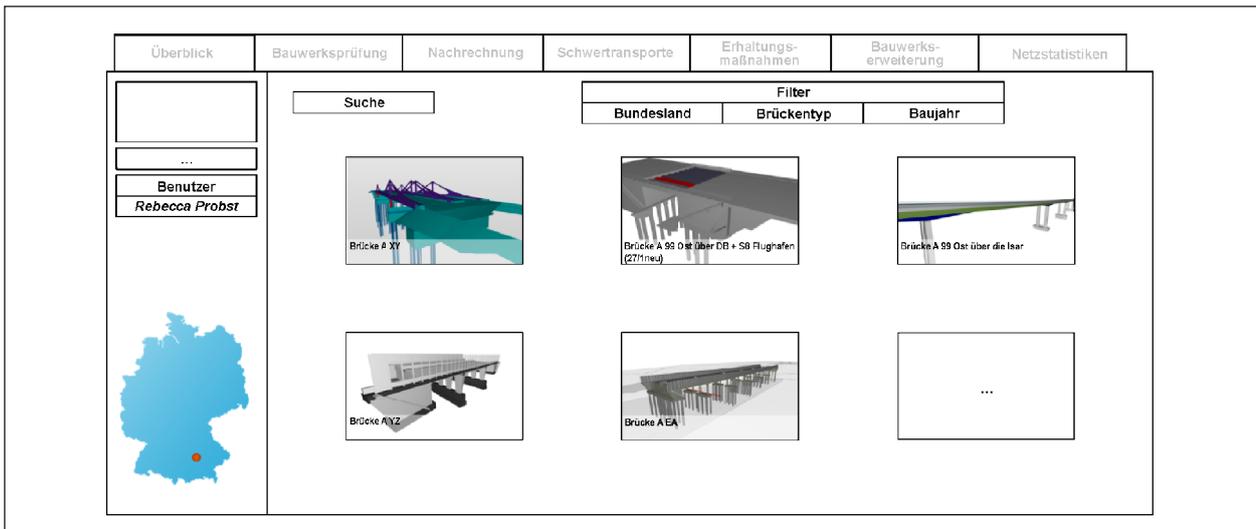


Bild 8-8: User Interface Frontend

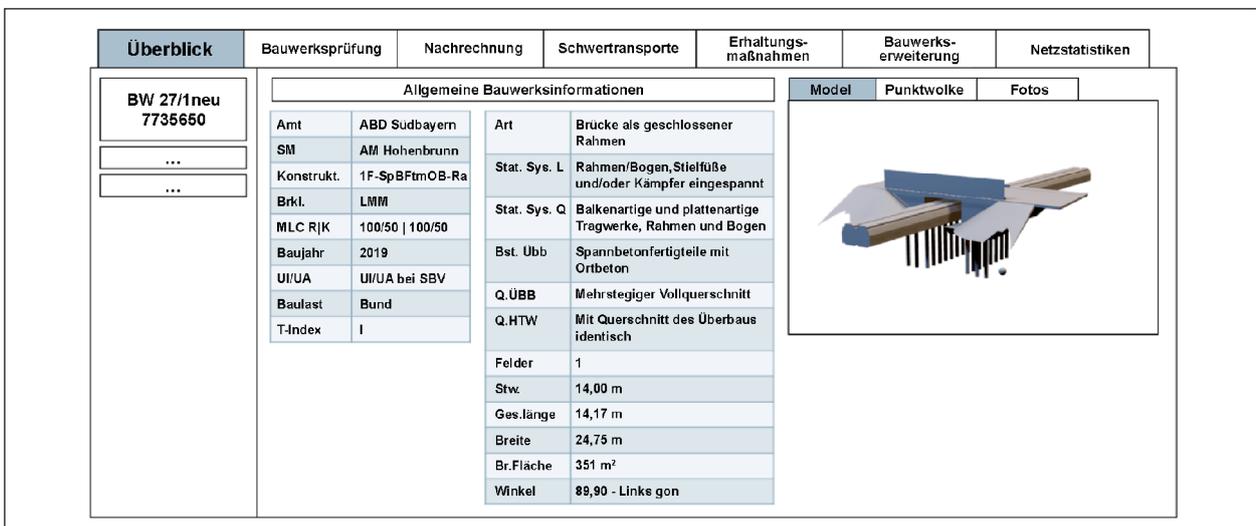


Bild 8-9: User Interface Frontend Übersichtsseite Beispiel 1

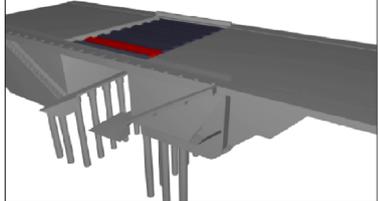
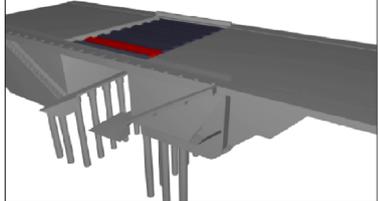
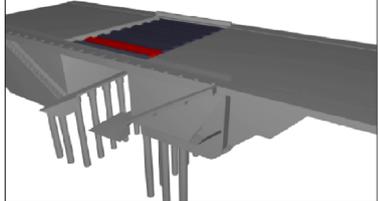
Überblick	Bauwerksprüfung	Nachrechnung	Schwertransporte	Erhaltungsmaßnahmen	Bauwerks-erweiterung	Netzstatistiken																																																																																
BW 27/1neu 7735650	Allgemeine Bauwerksinformationen																																																																																					
	<table border="1"> <tr><td>Amt</td><td>ABD Südbayern</td></tr> <tr><td>SM</td><td>AM Hohenbrunn</td></tr> <tr><td>Konstrukt.</td><td>1F-SpBFtmOB-Ra</td></tr> <tr><td>Brkl.</td><td>LMM</td></tr> <tr><td>MLC RJK</td><td>100/50 100/50</td></tr> <tr><td>Baujahr</td><td>2019</td></tr> <tr><td>UI/UA</td><td>UI/UA bei SBV</td></tr> <tr><td>Baulast</td><td>Bund</td></tr> <tr><td>T-Index</td><td>I</td></tr> </table>	Amt	ABD Südbayern	SM	AM Hohenbrunn	Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra	Brkl.	LMM	MLC RJK	100/50 100/50	Baujahr	2019	UI/UA	UI/UA bei SBV	Baulast	Bund	T-Index	I	<table border="1"> <tr><td>Art</td><td>Brücke als geschlossener Rahmen</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. L</td><td>Rahmen/Bogen, Stieflüße und/oder Kämpfer eingespannt</td></tr> <tr><td>Stat. Sys. Q</td><td>Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen</td></tr> <tr><td>Bst. Ubb</td><td>Spannbetonfertigteile mit Ort beton</td></tr> <tr><td>Q.ÜBB</td><td>Mehrsteiger Vollquerschnitt</td></tr> <tr><td>Q.HTW</td><td>Mit Querschnitt des Überbaus identisch</td></tr> <tr><td>Felder</td><td>1</td></tr> <tr><td>Stw.</td><td>14,00 m</td></tr> <tr><td>Ges.länge</td><td>14,17 m</td></tr> <tr><td>Breite</td><td>24,75 m</td></tr> <tr><td>Br.Fläche</td><td>351 m²</td></tr> <tr><td>Winkel</td><td>89,90 - Links gon</td></tr> </table>	Art	Brücke als geschlossener Rahmen	Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen, Stieflüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen	Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ort beton	Q.ÜBB	Mehrsteiger Vollquerschnitt	Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch	Felder	1	Stw.	14,00 m	Ges.länge	14,17 m	Breite	24,75 m	Br.Fläche	351 m ²	Winkel	89,90 - Links gon	<table border="1"> <tr><th>Model</th><th>Punktwolke</th><th>Fotos</th></tr> <tr><td colspan="3">  </td></tr> <tr><td colspan="3"> Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf </td></tr> <tr><td colspan="3"> <table border="1"> <tr><th>Eigenschaft</th><th>Wert</th></tr> <tr><td>Baufeld</td><td>Spannbeton</td></tr> <tr><td>Baubestimmung</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Eintragsnr.</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Eintragsnr.</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Erweiterungsgrad</td><td>170,30</td></tr> <tr><td>Eintragsnummer</td><td>2019.02.02.01.00.00.00</td></tr> <tr><td>IFC_Sachklasse</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Klassifikation</td><td>Fertigteil</td></tr> <tr><td>LOD</td><td>400</td></tr> <tr><td>Übertragungs</td><td>Brücke</td></tr> <tr><td>Modellname</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td>Objektbeschreibung</td><td>nach</td></tr> <tr><td>Standardisierungsnummer</td><td>12.314.20201.04.01.00.00</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>11,96</td></tr> </table> </td></tr> </table>	Model	Punktwolke	Fotos				Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf			<table border="1"> <tr><th>Eigenschaft</th><th>Wert</th></tr> <tr><td>Baufeld</td><td>Spannbeton</td></tr> <tr><td>Baubestimmung</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Eintragsnr.</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Eintragsnr.</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Erweiterungsgrad</td><td>170,30</td></tr> <tr><td>Eintragsnummer</td><td>2019.02.02.01.00.00.00</td></tr> <tr><td>IFC_Sachklasse</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Klassifikation</td><td>Fertigteil</td></tr> <tr><td>LOD</td><td>400</td></tr> <tr><td>Übertragungs</td><td>Brücke</td></tr> <tr><td>Modellname</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td>Objektbeschreibung</td><td>nach</td></tr> <tr><td>Standardisierungsnummer</td><td>12.314.20201.04.01.00.00</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>11,96</td></tr> </table>			Eigenschaft	Wert	Baufeld	Spannbeton	Baubestimmung	N_FTE_SA	Eintragsnr.	03000	Eintragsnr.	03000	Erweiterungsgrad	170,30	Eintragsnummer	2019.02.02.01.00.00.00	IFC_Sachklasse	03000	Klassifikation	Fertigteil	LOD	400	Übertragungs	Brücke	Modellname	N_FTE_SA_02	Objektbeschreibung	nach	Standardisierungsnummer	12.314.20201.04.01.00.00	Volumen
Amt	ABD Südbayern																																																																																					
SM	AM Hohenbrunn																																																																																					
Konstrukt.	1F-SpBFtmOB-Ra																																																																																					
Brkl.	LMM																																																																																					
MLC RJK	100/50 100/50																																																																																					
Baujahr	2019																																																																																					
UI/UA	UI/UA bei SBV																																																																																					
Baulast	Bund																																																																																					
T-Index	I																																																																																					
Art	Brücke als geschlossener Rahmen																																																																																					
Stat. Sys. L	Rahmen/Bogen, Stieflüße und/oder Kämpfer eingespannt																																																																																					
Stat. Sys. Q	Balkenartige und plattenartige Tragwerke, Rahmen und Bogen																																																																																					
Bst. Ubb	Spannbetonfertigteile mit Ort beton																																																																																					
Q.ÜBB	Mehrsteiger Vollquerschnitt																																																																																					
Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch																																																																																					
Felder	1																																																																																					
Stw.	14,00 m																																																																																					
Ges.länge	14,17 m																																																																																					
Breite	24,75 m																																																																																					
Br.Fläche	351 m ²																																																																																					
Winkel	89,90 - Links gon																																																																																					
Model	Punktwolke	Fotos																																																																																				
																																																																																						
Detailplan_xy.pdf Protokoll_xy.pdf Ansicht_xy.pdf Schnitt_xy.pdf																																																																																						
<table border="1"> <tr><th>Eigenschaft</th><th>Wert</th></tr> <tr><td>Baufeld</td><td>Spannbeton</td></tr> <tr><td>Baubestimmung</td><td>N_FTE_SA</td></tr> <tr><td>Eintragsnr.</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Eintragsnr.</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Erweiterungsgrad</td><td>170,30</td></tr> <tr><td>Eintragsnummer</td><td>2019.02.02.01.00.00.00</td></tr> <tr><td>IFC_Sachklasse</td><td>03000</td></tr> <tr><td>Klassifikation</td><td>Fertigteil</td></tr> <tr><td>LOD</td><td>400</td></tr> <tr><td>Übertragungs</td><td>Brücke</td></tr> <tr><td>Modellname</td><td>N_FTE_SA_02</td></tr> <tr><td>Objektbeschreibung</td><td>nach</td></tr> <tr><td>Standardisierungsnummer</td><td>12.314.20201.04.01.00.00</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>11,96</td></tr> </table>			Eigenschaft	Wert	Baufeld	Spannbeton	Baubestimmung	N_FTE_SA	Eintragsnr.	03000	Eintragsnr.	03000	Erweiterungsgrad	170,30	Eintragsnummer	2019.02.02.01.00.00.00	IFC_Sachklasse	03000	Klassifikation	Fertigteil	LOD	400	Übertragungs	Brücke	Modellname	N_FTE_SA_02	Objektbeschreibung	nach	Standardisierungsnummer	12.314.20201.04.01.00.00	Volumen	11,96																																																						
Eigenschaft	Wert																																																																																					
Baufeld	Spannbeton																																																																																					
Baubestimmung	N_FTE_SA																																																																																					
Eintragsnr.	03000																																																																																					
Eintragsnr.	03000																																																																																					
Erweiterungsgrad	170,30																																																																																					
Eintragsnummer	2019.02.02.01.00.00.00																																																																																					
IFC_Sachklasse	03000																																																																																					
Klassifikation	Fertigteil																																																																																					
LOD	400																																																																																					
Übertragungs	Brücke																																																																																					
Modellname	N_FTE_SA_02																																																																																					
Objektbeschreibung	nach																																																																																					
Standardisierungsnummer	12.314.20201.04.01.00.00																																																																																					
Volumen	11,96																																																																																					

Bild 8-10: User Interface Frontend Übersichtsseite Beispiel 2

9 AP 7: Zukunftstechnologien im Erhaltungsmanagement

Unsere Wirtschaft und Gesellschaft unterliegen einem ständigen Wandel. Im stetigen Progress existieren zahlreiche Megatrends (Zukunftsinstitut 2021), die unsere Zukunft in den kommenden Jahrzehnten maßgeblich beeinflussen werden. Vor allem die Digitalisierung gehört zu den Treibern dieses Wandels und hat Auswirkungen auf alle Sektoren der Wirtschaft. In Zusammenhang mit der digitalen Transformation seien beispielsweise Cloud-Computing, Big Data, Internet of Things, Künstliche Intelligenz, Blockchain, Virtual und Augmented Reality, Robotik, Sensorik oder Smart Buildings und Smart Cities genannt, die als Technologien der Zukunft gelten. Laut einer Studie von Roland Berger (Roland Berger 2016) werden diese Trends auch maßgebenden Einfluss auf das Planen, Bauen und Betreiben der Bauwerke von morgen haben.

9.1 Digitale Zwillinge

Im Kontext von Produktmodellen im Bauwesen gewinnt der Begriff des Digitalen Zwillings (DT⁴) in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse stellen

JONES et al. (2020) allerdings fest, dass hier eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen vorliegt.

Typischerweise versteht man unter einem Digitalen Zwilling die virtuellen Replica eines physischen Objekts oder Systems. Bei diesem virtuellen Gegenstück handelt es sich um ein digitales Modell. Dabei kann aber auch das physische Objekt selbst und eine Datenverbindung zwischen virtuellem Gegenstück und diesem Objekt Teil des Digitalen Zwillings sein (GRIEVES 2014). Insbesondere ermöglicht es eine solche Datenverbindung, das digitale Modell kontinuierlich zu aktualisieren, sodass das digitale Abbild mit der physischen Realität übereinstimmt. Die dadurch gegebene Aktualität der digitalen Repräsentation stellt den Kernaspekt dieser Technologie dar. Ermöglicht wird dies beispielsweise durch Sensoren am physischen Objekt, wobei ein Abgleich natürlich auch durch eine Auswertung von Kameradaten oder durch eine manuelle Überprüfung erfolgen kann. Die Häufigkeit dieser Aktualisierungen ist jedoch abhängig von der Art des Produkts, seiner Dynamik sowie vom Zweck des Modells. Der Digitale Zwilling eines Objekts, das sich kontinuierlich auf relevante Weise verändert (z. B. eines Fahrzeugantriebs), muss demnach häufiger angepasst werden als das eines vergleichsweise statischen Objekts (z. B. eines Bestandsbauwerks).

GRIEVES et al. (2017) unterscheiden weiterhin zwischen zwei Typen Digitaler Zwillinge, den Digital Twin Prototypes und Digital Twin Instances. Ein DT-Prototyp dient zur Beschreibung prototypischer, also sich noch in Planung befindlicher, physischer Objekte. Es handelt sich dabei also um ein präskrip-

⁴ engl. Digital Twin (DT)

tives Modell, das die Informationen enthält, die notwendig sind, um das physische Objekt zu beschreiben und herzustellen. Die DT-Instanz beschreibt hingegen ein konkretes physisches Objekt oder Produkt, mit dem ein individueller Digitaler Zwilling während der gesamten Lebensdauer dieses physischen Objekts verbunden bleibt (deskriptives Modell).

Im Bauwesen etabliert sich der Begriff des Digitalen Zwillings momentan im Kontext der Nutzung von BIM für die Instandhaltung und den Betrieb von Bauwerken und Gebäuden. Eine DT-Instanz ist hier also letztlich ein As-built oder Wiegebauteil-Modell, das den Zustand eines Bauwerks nach Ende der Ausführungsphase beschreibt und kontinuierlich, z. B. bei Beschädigungen oder Veränderungen am Bauwerk, aktualisiert wird. Im Rahmen aktueller Forschungsprojekte wird allerdings auch untersucht, inwiefern ein Digitaler Zwilling schon während der Planungs- und Bauphase genutzt werden kann (BIM2TWIN 2021). Ein solcher Digitaler Zwilling würde dann beispielsweise auch Informationen zum Bauprozess und zum Status des Bauwerks während der Bauphase abbilden und mit fortschreitendem Bauablauf laufend aktualisiert werden. Damit würde es sich hier um eine Mischung aus DT-Prototyp und DT-Instanz handeln.

9.2 Cloud-Services und Cloud-Computing

Die Baubranche beginnt zunehmend digitale Hilfsmittel für sich zu entdecken, die sich in anderen Branchen längst etabliert haben. Dies trifft insbesondere auf die Nutzung von Cloud-Diensten und Cloud-Computing zu. Oftmals stellt die Cloud hierbei viel mehr als nur einen gemeinsam genutzten Arbeitsbereich oder einen Ort zum Speichern großer Datenmengen dar. Eine wichtige Erkenntnis vieler Studien ist, dass Cloud-Computing die Grundlage für die Bereitstellung von Innovationen aller aufkommenden Technologien (Building Information Modeling, Internet of Things, Virtual Reality, Augmented Reality, Big Data etc.) in der Baubranche ist. Cloud-Computing stellt einen Paradigmenwechsel in der Art und Weise der Verwaltung von Hardware- und Software-Ressourcen dar. Die Idee dahinter ist, die Recheninfrastruktur gemeinsam zu nutzen und wiederverwendbar zu machen und hiermit verbundene Kosten auf die Anwender zu verteilen (Pay as you go; jeder Nutzer zahlt das, was er

verbraucht). Es gibt zahlreiche Vorteile von Cloud-Systemen, von denen nachfolgend einige aufgeführt werden.

In erster Linie sei die Datenspeicherung in Cloud-Diensten genannt. Die Cloud bietet nahezu unbegrenzten Speicherplatz. Die gemeinsame Nutzung von Daten in großen Projekten kann sehr zeitaufwendig und umständlich sein. Hier bietet die Cloud den Nutzern die Möglichkeit, Daten zu erheben, zu verwalten und mit anderen Anwendern zu teilen – geräte- und standortunabhängig und über Unternehmensgrenzen hinweg. Cloud-Dienste unterstützen somit die digitale Vernetzung in Projekten und von Baustellen. Die Cloud-Dienste tragen dazu bei, Informationslücken einzelner Nutzer auf ein Minimum zu reduzieren und die Redundanz von Daten zu verringern bzw. zu vermeiden. Auf diese Weise können unter Berücksichtigung der aktuellen Randbedingungen, also des aktuellen Datenbestandes des Projektes, abgewogene Entscheidungen getroffen werden.

Auch für den Betrieb und die Erhaltung von Bauwerken können Cloud-Dienste wesentliche Vorteile mit sich bringen. Eine cloudbasierte Datenbank zur Speicherung und Verwaltung von Bestandsbauwerken, die konsequent aktuell gehalten wird und auch vor Ort am Bauwerk eingesehen und aktualisiert werden kann, hat das Potenzial, eine multiple Datenhaltung und die daraus resultierenden möglichen Inkonsistenzen zu vermeiden.

9.3 Internet of Things (IoT)

Das Internet der Dinge – engl.: Internet of Things (IoT) – ist ein Sammelbegriff für Technologien, bei denen Objekte (Dinge, engl.: Things) miteinander vernetzt sind und durch Informations- und Kommunikationstechniken zusammenarbeiten. Wie die meisten anderen aufstrebenden Technologien auch, ist das Internet of Things ein sehr umfängliches Konzept, von dem viele Branchen profitieren können. Es basiert auf der Erhebung von Daten und dem Datenaustausch zwischen physischen und virtuellen Objekten. Die intelligenten Objekte sind mit Sensoren ausgestattet, die die Fähigkeit haben, spezifische Daten zu erheben und auszuwerten. Das Internet stellt die Infrastruktur dar, die die Objekte zur Kommunikation nutzen.

Die Anfänge der Technologie liegen in der primitiven Form der Echtzeit-Identifikation von Waren mittels

Radio Frequency Identification (RFID). Sogenannte Smart-Tags ermöglichen hierbei die Kommunikation von Things to Things (T2T), die insbesondere großen Einzelhändlern die Möglichkeit eröffnet hat, ihre Produktions- und Lieferketten digital zu vernetzen und zu optimieren. Heute bietet das Internet of Things eine breitere Palette von Technologien der globalen Infrastruktur der Informationsgesellschaften, wie beispielsweise Haushaltsgeräte, Autos und sogar Gebäude (CHANDANSHIVE 2017).

Das IoT als solches ist universell und für viele verschiedene Anwendungsfälle und -bereiche nutzbar. Daher kann auch die Baubranche von der Integration von IoT-Technologien und -Geräten profitieren. So kann die Technologie beispielsweise dazu beitragen, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozesse im Lebenszyklus von Bauwerken zu verbessern. Statt Objekte erst bei drohendem Ausfall oder Versagen zu ersetzen, können deren Status und Leistung mittels IoT kontinuierlich überwacht und auf diese Weise bereits frühzeitig präventive Maßnahmen vorgenommen werden, lange bevor die Objekte kaputtgehen. IoT-Sensoren liefern alle notwendigen Daten, um einen solchen Prozess zu ermöglichen. Die Objekte kommunizieren die Daten in Echtzeit an ein externes System, das die Daten analysiert, mögliche Fehler identifiziert und die Informationen automatisch an die zuständigen Personen meldet. Die Implementierung einer solchen Anwendung ist zwar mit zusätzlichen Kosten verbunden, diese kann jedoch dazu beitragen die Kosten für die Instandhaltung und -setzung um bis zu 50 % zu reduzieren (LU 2014).

9.4 Künstliche Intelligenz (KI)

Künstliche Intelligenz (KI) – engl.: Artificial Intelligence (AI) – ist eine der zentralen Technologien der Zukunft. In vielen Branchen und Unternehmen hat künstliche Intelligenz oder genauer gesagt der Teilbereich des maschinellen Lernens (engl.: Machine Learning) dazu beigetragen, Prozesse zu optimieren. Beim maschinellen Lernen werden Algorithmen entwickelt, die selbständig Aufgaben erfüllen und dabei versuchen, die menschliche Intelligenz nachzuahmen. Die selbstlernenden Algorithmen können Problemstellungen anhand von heterogenen Daten analysieren und bestimmte Muster und Gesetzmäßigkeiten erkennen. Die Leistungsfähigkeit der Algorithmen ist primär durch die Menge und Qualität der vorhandenen Daten bestimmt, die dem Training der KI dienen.

Laut einer Studie des McKinsey Global Institute (McKinsey 2018) ist das Bauwesen die Branche, in der KI-Lösungen aktuell nur sehr vereinzelt Anwendung finden. Die Potenziale der Technologie werden daher kaum ausgeschöpft.

Nicht zuletzt durch Anstieg der Anzahl, Komplexität und Größe von Bauprojekten ist die Menge der erhobenen Daten enorm. Qualitative digitale Daten sind der Grundstein für den Einsatz der KI. Daher bietet das Bauwesen gute Voraussetzungen für die Einführung von KI-Anwendungen. Laut einer Studie des Fraunhofer IAO (Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation) bieten vor allem folgende Anwendungsbereiche im Bauwesen Potenziale für den Einsatz von KI:

- Projektmanagement
- Parametrisches und generatives Design
- Arbeitssicherheit und Gesundheit
- Öffentliche Verwaltung
- Facility Management
- Bestandserfassung und -modellierung

Das Bauwesen kann dabei durch die Adaption bestehender KI-Technologien anderer Branchen profitieren. Hier seien insbesondere Deep-Learning-Methoden mit neuronalen Netzen (Teilbereich des maschinellen Lernens) genannt, die z. B. bei der Objekterkennung im Bereich des autonomen Fahrens oder bei der Text- und Spracherkennung verwendet werden. Die Technologie hat das Potenzial, riesige Datenmengen auszuwerten. Die Algorithmen sind in der Lage von sich aus zu lernen, ohne dass der Anwender in die Analyse der Daten und den eigentlichen Entscheidungsprozess eingreifen muss (Besonderheit neuronaler Netze im Vergleich zum reinen maschinellen Lernen). Auf diese Weise können viele Prozesse in allen Bereichen der Verwaltung eines Bauprojekts automatisiert werden (Angebots-erstellung, Controlling, effiziente Terminplanung, Koordination von Lieferketten etc.). Ebenso kann die Technologie der Bilderkennung, die beispielsweise im Gesundheitswesen im Kontext der Diagnostik eingesetzt wird, zu einer Automatisierung der Erstellung von digitalen Zwillingen beitragen.

9.5 Sensorik

Die Verwendung von Sensoren in der Mess- und Regelungstechnik per se ist keine technische Innovation. Für Bauwerke, wie Brücken oder Gebäude, kann mithilfe sensorischer Daten in Echtzeit der physische Zustand erfasst werden. Entsprechende IT-Systeme geben Auskunft über die aktuellen Betriebs- und Vitalparameter und bilden die Entscheidungsgrundlage für die Bewirtschaftung der Bauwerke oder erforderliche Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen. Die kontinuierliche Zustandserfassung über Sensorik im gesamten Lebenszyklus in Kombination mit weiteren Technologien, wie IoT oder KI, erweitert jedoch deren Anwendungsbereich und Mehrwerte.

Sensorik ist in diesem Zusammenhang beispielsweise eine grundlegende Technologie in sogenannten intelligenten Gebäuden – engl.: Smart Buildings. Hierin werden insbesondere bei den Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung sensorbasierte Daten erhoben und analysiert. Das Monitoring der Wasser-, Wärme- und Stromkreisläufe dient der Optimierung des Betriebs. Durch die Verwendung von Sensoren und die Vernetzung der Anlagen und Geräte können die Steuerung und Wartung effizienter erfolgen und Kosten bei der Bewirtschaftung der Gebäude eingespart werden (ERBSTÖßER 2018). In diesem Kontext sind digitale Zwillinge, Konterparte zum realen Objekt, wie sie im Kontext von Building Information Modeling erstellt werden, von besonderem Interesse, um die erhobenen Daten zu verwalten und visuell sichtbar machen zu können.

Ein weiteres Anwendungsgebiet von Sensorik ist das Monitoring von Ingenieurbauwerken. Die sensorbasierte Beurteilung des Zustands erfolgt im Bereich der Infrastruktur gegenwärtig i. d. R. nur dann, wenn ein Problem bereits vorhanden ist. Die durchgängige automatisierte Zustandsbeurteilung mittels Sensorik kann, im Vergleich zur zyklischen manuellen Inspektion, effizienter erfolgen und zu einer frühzeitigen Erkennung von Schäden beitragen. Wie auch bei Smart Buildings ist auch bei Smart Bridges eine Vernetzung mit dem realen Objekt erforderlich, um die erhobenen Daten anhand digitaler Zwillinge analysieren und visualisieren sowie erforderliche Maßnahmen ableiten zu können (GRABE et al. 2020).

9.6 Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)

Die Darstellung und Wahrnehmung der Wirklichkeit in einer computergenerierten interaktiven Umgebung wird als virtuelle Realität – engl.: Virtual Reality (VR) – bezeichnet. Der Anwender taucht mithilfe von Großbildwänden (Multi-Display-Setups), einer VR-Brille (Head-Mounted-Displays) oder in speziellen Räumen (Cave Automatic Virtual Environment, kurz CAVE) in die virtuelle Welt ein. Die Überlagerung der virtuellen Umgebung mit der physischen Realität wird als erweiterte Realität – engl.: Augmented Reality (AR) – bezeichnet. Die physische Realität wird hierbei mit mobilen Endgeräten (z. B. Tablet) oder speziellen AR- bzw. Datenbrillen um die virtuelle Realität erweitert.

Die Technologie ist vor allem aus der Gaming- und Unterhaltungsindustrie bekannt, findet jedoch auch im Marketing, Tourismus, Sport oder der Bildung Anwendung. Auch in der Bauindustrie wird VR und AR zunehmend eingesetzt. Die Implementierung digitaler modellbasierter Arbeitsweisen fördert auch im Bauwesen den Einsatz von VR- und AR-Technologien, die der Visualisierung der Bauwerke dienen und insbesondere für die Einbindung der Bauwerksmodelle auf der Baustelle relevant sind (DELGADO et al. 2020).

Da die Bauwerke durchgehend dreidimensional konstruiert wurden, können die Modelle problemlos in eine virtuelle Umgebung eingebunden werden. Änderungen am Modell können oftmals in Echtzeit in die virtuelle Realität überführt werden. Der Anwender kann sich virtuell im später errichteten Gebäude oder entlang des geplanten Infrastrukturbauwerks bewegen. Auf diese Weise kann am Projekt beteiligten Stakeholdern die Möglichkeit gegeben werden, das geplante Bauwerk in der virtuellen Umgebung zu erkunden. So kann oftmals ein besseres Verständnis für das Bauvorhaben erzielt werden. Insbesondere das Design eines Bauwerks kann durch die Anwendung von VR optimiert werden, da gestalterische Details im realen Maßstab in ihrer späteren Ausprägung betrachtet werden können.

Auf der Baustelle können AR-Technologien dabei unterstützen, die Bauausführung mit der Planung abzugleichen. Ebenso können beispielsweise Bemusterungen mithilfe von AR-Technologie durchgeführt werden. Darüber hinaus können Bauteile, die durch andere Bauwerksstrukturen verdeckt sind, mithilfe von AR verortet werden. Hier ergeben sich

beispielsweise mögliche Anwendungsszenarien in der technischen Ausrüstung oder dem Leitungsbau. Entsprechende Daten können insbesondere im späteren Betrieb der Bauwerke vorteilhaft sein (Bitforge 2020).

Virtual und Augmented Reality können zudem auch losgelöst von Bauwerksmodellen von Nutzen sein. Hier sei u. a. die Anwendung der Technologie im Zuge des Arbeitsschutzes genannt. Das Fachpersonal kann mit Unterstützung von VR oder AR interaktiv hinsichtlich der Anwendung von Baumaschinen oder -werkzeug geschult werden. Die Sicherheit auf der Baustelle kann so erhöht und die Beurteilung etwaiger Gefährdungssituationen besser vorgenommen werden.

Literatur

7. OKSTRA-Symposium. (2018). FGSV-Symposium am 15. und 16. Mai 2018. 002/122. Bergisch Glabach: FGSV.
- Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020. (2019). Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. (B. f. Infrastruktur, Hrsg.)
- BORRMANN, A.; SINGER, D. (2016): Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken.
- BAST (1999): Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken.
- BAST (2011): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (Bde. Teil 9 – Abschnitt 2).
- BAST (2012): Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand. Reihe B: Brücken- und Ingenieurbau (82)
- BAST (2013): Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID Tags – FE 09.0149/2011/DRB. Schlussbericht.
- BAST (2014a): Intelligente Bauwerke – Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse – FE 15.0538/2011/ARB. Schlussbericht.
- BAST (2014b): Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells – FE 15.0546/2011/LRB. Schlussbericht.
- BAST (2019): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING).
- BAUMBERGER, S. (2019): Großraum- und Schwertransporte (GST) – Aktuelle Entwicklungen. Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr.
- BIM2TWIN (2021): EU Horizon 2020 Forschungsprojekt, <https://www.unismart.it/bim2twin/>, Letzter Aufruf: 23.08.2021.
- Bitforge AG (2020): Wie Augmented Reality den E-Commerce revolutioniert, URL: <https://bitforge.ch/augmentedreality/generationsofashopperswieaugmentedrealitydene-commerce-revolutioniert>, Letzter Aufruf: 11.05.2021.
- BMVI (2016): Regelungen und Richtlinien für die Berechnung und Bemessung von Ingenieurbauten BEM-ING . In Teil 3 – Abschnitt 2.
- BMVI (2017): Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten.
- BMVI (2017): Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten (RI-ERH-ING).
- BMVI (2017): RI-EBW-PRÜF – Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076.
- BMVI (2019): Handbuch für die Vergabe und Ausführung von freiberuflichen Leistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA F-StB).
- BMVBS (2011): Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie).
- BMVBS (2013): Anweisung Straßeninformationbank Segment Bauwerksdaten (ASB ING).
- BMVBS (2013): Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Verantwortung, Durchführung. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- BMVBW (2008): Erhaltung- Sammlung Brücken- und Ingenieurbau. Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr.
- CHANDANSHIVE, V. B.; KAZI, A. M. (2017): Application of Internet of Things in Civil Engineering construction projects – A State of the Art, 4th International Conference on Computing for Sustainable Global Development.
- COLDITZ, B. (2013): Brückenertüchtigung – eine notwendige Voraussetzung für ein zuverlässiges Fernstraßennetz. Bautechnik, 90(3), 184-192.
- DANG, N. S.; & SHIM, C. S. (2018): BIM authoring for an imagebased bridge maintenance system of existing cablesupported bridges. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 143, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
- DEGES (2019): BIM Leitfaden, Version 1.5. Berlin.

- DELGADO, J. M. D.; OYEDELE, L.; DEMIAN, P.; BEACH T. (2020): A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction, *Advanced Engineering Informatics*.
- DIN (1999): DIN 1076 - Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung.
- DIN (1999): Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung.
- DIN (2012): DIN 31051-Grundlagen der Instandhaltung.
- DORI, G.; WILD, M.; BORRMANN, A.; & FISCHER, O. (2013): A system model based approach for lifecycle monitoring of bridges. In *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering (CSC2013)*, Cagliari, Sardinia, Italy.
- ERBSTÖBER, A. (2018): Smart Buildings im Internet der Dinge – Die digitale Zukunft von Gebäuden, URL: https://www.technologie-stiftungberlin.de/fileadmin/user_upload/smartbuildingiminternetderdingestudie.pdf, Letzter Aufruf: 09.06.2021.
- FISCHER, O.; MÜLLER, A.; LECHNER, T.; WILD, M.; KESSNER, K. (2014): Ergebnisse und Erkenntnisse zu durchgeführten Nachrechnungen von Betonbrücken in Deutschland. *Beton- und Stahlbetonbau*, 109(2), 107-127.
- GOJ, D.-I. K. (2011): Einführung der Nachrechnungsrichtlinie in Bayern.
- GRABE, M.; WENNER, M.; HERBRAND, M. (2020): smartBridge Hamburg – prototypische Pilotierung eines digitalen Zwillings, URL: <https://doi.org/10.1002/bate.201900108>, Letzter Aufruf: 09.06.2021.
- GRIEVES, M. (2014): Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. Florida Institute of Technology.
- GRIEVES, M.; VICKERS, J. (2017): Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 85–113). Springer International Publishing.
- GÜNTHNER, W. A.; BORRMANN, A. (2011): Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. *Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert*. Heidelberg, New York: Springer (VDI-Buch).
- HAMMAD, A.; ZHANG, C.; HU, Y.; MOZAFFARI, E. (2006): Mobile Model-Based Bridge Lifecycle Management System. In: *Computer-aided Civil Eng* 21 (7), S. 530–547. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2006.00456.x.
- HEGGER, J.; DRESSEN, T.; SCHIEßL, P.; ZINTEL, M.; MAYER, T.; KESSLER, S. et al. (2009): Beton Nachhaltiges Bauen im Lebenszyklus. In: *Bauingenieur* 8, S. 304–312.
- HELD, S. O. A.-P. (2017): Brückenerhaltungsmanagement durch Datenanalyse.
- HÜTHWOHL, P.; BRILAKIS, I.; BORRMANN, A.; SACKS, R. (2018): Integrating RC bridge defect information into BIM models. *American Society of Civil Engineers*.
- JONES et al. (2020): Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36–52.
- KASCHNER, R. (2009): Auswirkungen des zunehmenden Schwerverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Bericht zu FE 04243 des Arbeitsprogrammes der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- KLUTH, M.; BORRMANN, A.; RANK, E.; MAYER, T.; SCHIEßL, P. (2008): 3D building model-based lifecycle management of reinforced concrete bridges. In: *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2008*, S. 291.
- LU, Y.; MA, H.; LI, Z. (2014): Civil Infrastructures Connected Internet of Things, *Current Advances in Civil Engineering*, 2014.
- LU, R.; BRILAKIS, I. (2019a): Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters. *Automation in Construction*, 105, 102837.
- LU, R.; BRILAKIS, I. (2019b): Digital twinning of existing bridges from labelled point clusters. *Proceedings of the 36th ISARC 2019*.

- LU, R.; BRILAKIS, I.; MIDDLETON, C. R. (2019): Detection of structural components in point clouds of existing RC bridges. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34(3), 191–212.
- LUBOWIECKA, I.; ARMESTO, J.; ARIAS, P.; LORENZO, H. (2009): Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. In: *Engineering Structures* 31 (11), S. 2667–2676. DOI: 10.1016/j.engstruct.2009.06.018.
- LUGER, M. J. (2009): Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken in Vorarlberg. Stallehr.
- LUKAS, K. (2011): Mapping Digital Photographs onto 3D Geometric Models. Online verfügbar unter <https://www.cie.bgu.tum.de/upload/lehre/softwarelab/sl2011/projects/topics/MappingPhotosOn3DModels.pdf>
- LUKAS, K. C.; BORRMANN, A. (2013): Metaheuristic Applications in Structures and Infrastructures. In: *Network-Level Infrastructure Management Based on Metaheuristics*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398364-0.00021-8>
- MARZAHN, G. R. M. (2013): Die Nachrechnung von bestehenden Straßenbrücken aus Beton.
- MCGUIRE, B.; ATADERO, R.; CLEVENGER, C.; OZBEK, M. (2016): Bridge information modeling for inspection and evaluation. *Journal of Bridge Engineering*, 21(4), 04015076.
- McKinsey & Company (2018): Artificial intelligence: Construction technology's next frontier, URL: <https://www.mckinsey.com/businessfunctions/operations/ourinsightsartificialintelligenceconstructiontechnologysnextfrontier>, Letzter Aufruf: 11.05.2021.
- NAUMANN, D.-I. J. (kein Datum): Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Verantwortung, Durchführung. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Dezernat 21/32 (kein Datum): Systematische Brückenertüchtigung von der Nachrechnung bis zum Bau.
- PHARES, B. M.; WASHER, G. A.; ROLANDER, D. D.; GRAYBEAL, B. A.; MOORE, M. (2004): Routine Highway Bridge Inspection Condition Documentation Accuracy and Reliability. In: *J. Bridge Eng.* 9 (4), S. 403–413. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:4(403).
- RIVEIRO, B.; MORER, P.; ARIAS, P.; ARTEAGA, I. De (2011): Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges. In: *Construction and Building Materials* 25 (4), S. 1726–1735. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.094.
- Roland Berger GmbH (2016): Digitalisierung der Bauwirtschaft – Der europäische Weg zu „Construction 4.0“. URL: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_digitalisierung_bauwirtschaft_final.pdf, Letzter Aufruf: 09.06.2021.
- SACKS, R.; MA, L.; YOSEF, R.; BORRMANN, A.; DAUM, S.; KATTEL, U. (2016): Enhancement of a Semantic Enrichment Tool for Building Information Modeling, *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- SCHIEßL, P.; GEHLEN, C.; ZINTEL, M.; RANK, E.; BORRMANN, A.; LUKAS, K. et al. (2011): Nachhaltig Bauen mit Beton – Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung. DfStb/BMBF.
- SCHIEßL, P., & MAYER, T. (2006). Lebensdauermanagement von Stahlbetonbauwerken. In: D. A. e. V., Statusseminar zum Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin.
- SINGER, D.; BORRMANN, A. (2015): A Novel Knowledge-Based Engineering Approach for Infrastructure Design. In *The Fourth International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering*. Prague, Czech Republic.
- STANDFUß, F. (1995): Die konstruktiv richtig Ausbildung von Brücken als Voraussetzung für eine wirtschaftliche Überwachung, Prüfung und Erhaltung. *Dresdner Brückenbausymposium*.
- TANG, P.; AKINCI, B.; GARRETT, J. H. (2007): Laser Scanning for Bridge Inspection and Management. In: *report (iabse symp.)* 93 (18), S. 17–24. DOI: 10.2749/222137807796120283.
- TANG, P.; HUBER, D.; AKINCI, B.; LIPMAN, R.; LYTLE, A. (2010): Automatic reconstruction of asbuilt building information models from laserscanned point clouds: A review of related

techniques. In: Automation in Construction 19 (7), S. 829–843. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.007.

TANG, P.; HUBER, D.; AKINCI, B. (2011): Characterization of Laser Scanners and Algorithms for Detecting Flatness Defects on Concrete Surfaces. In: J. Comput. Civ. Eng. 25 (1), S. 31–42. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000073.

Zukunftsinstitut (2021): Die Megatrend-Map, URL: <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/diemegatrendmap/> Letzter Aufruf 08.05.2021.

Tabellen

Tab. 4-1: Informationsanforderungen Bautagebuch

Tab. 4-2: Komponenten der Digitalen Bauwerksakte

Tab. 4-3: Erforderliche Dokumente bei Bauwerksdokumentation nach (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019)

Tab. 4-4: Informationsanforderungen für Prüfhandbuch

Tab. 4-5: Informationen zur Bauwerksprüfung

Tab. 4-6: Informationsanforderung für Schäden und Mängel

Tab. 4-7: Informationen in Form von Dokumenten bei der Schadenserfassung

Tab. 4-8: Informationsanforderungen Maßnahmenempfehlung

Tab. 4-9: Kennzahlen bei der Schadensbewertung

Tab. 4-10: Informationsanforderungen Serviceheft

Bilder

Bild 2-1: Datenmanagement im BIM basierten Erhaltungsmanagement weiterentwickelt aus (SCHIEßL et al., 2006)

Bild 2-2: Implementierungsschritte zur Umsetzung der Forschungsergebnisse

Bild 4-1: Auftraggeber Informationsanforderungen im Lebenszyklus

Bild 4-2: Übersicht betrachtete Szenarien/Anwendungsfälle

Bild 4-3: Beispiel Modellierung der Aufschlüsse aus Bodengutachten (Konstruktionsgruppe Bauen AG)

Bild 4-4: Beispiel Überlagerung Bestandsmodell mit Neubau- und Baubehelfsmodell (Konstruktionsgruppe Bauen AG)

Bild 4-5: Beispiel geometrische Projektinformationen für Ermittlung der Brückenlänge nach ASB-ING

Bild 4-6: Beispiel Verortung der Projektinformationen am Projektbasispunkt

Bild 4-7: Geometrische Projektinformationen DEGES, Auszug aus (DEGES, 2019)

Bild 4-8: Beispiel Bauteilinformationen für Vorspannung aus (DEGES, 2019)

Bild 4-9: Zustandsnote nach RI-EBW-PRÜF. Quelle: (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017)

Bild 4-10: Prozessbeschreibung Bauwerksprüfung

Bild 4-11: Schematischer Aufbau der Bauwerksdatenbank SIB-Bauwerke

Bild 4-12: Mittel- und langfristige Strategie zur Erhaltung des Brückenbestandes (aus COLDITZ 2013 bzw. BMVBS, Referat StB 17)

Bild 4-13: Anteil der Brückenklassen nach Verkehrslastmodellen in % bezogen auf die Brückenfläche des Bundesfernstraßennetzes aus (BMVBS 2013) (getrennt für Bundesautobahnen und Bundesstraßen)

Bild 4-14: Ablaufdiagramm zur Nachrechnung (Nachrechnungsrichtlinie 05/2011)

Bild 4-15: Ablaufschema Brückennachrechnung in Anlehnung an (MARZAHN et al. 2013)

- Bild 4-16: Aktueller Verfahrensablauf des Genehmigungsverfahrens. Quelle: (BAUMBERGER, 2019)
- Bild 5-1: Bestandteile der digitalen Bauteilakte
- Bild 6-1: Beispielhafte Typ- und Attributtabelle (TAT), „x“ stellt die Verlinkung dar
- Bild 6-2: Darstellung von Bauteiltypen und Attributen im webbasierten Tool properBIM
- Bild 6-3: Ergebnisse einer automatisierten Modellprüfung auf Basis der TAT
- Bild 6-4: Mögliche Verantwortlichkeiten/Aufgaben und Rollen in einem Projekt im Kontext der BIM-Umsetzung (Quelle: DEGES BIM-Leitfaden)
- Bild 7-1: MockUp einer Frontend Übersicht
- Bild 7-2: Frontend Übersichtsseite mit Modell, Bauteilinformationen und zugehörigen Dokumenten.
- Bild 7-3: Mögliche Darstellung einer Frontend Übersichtsseite mit Modell
- Bild 7-4: Frontend Übersichtsseite mit Fotos
- Bild 7-5: Frontend Übersichtsseite mit Punktwolke
- Bild 7-6: Auswahl der Zuständigkeitsgruppe
- Bild 7-7: Auswahl der Tätigkeit
- Bild 7-8: Auswahl der Tätigkeit am Beispiel Hauptprüfung
- Bild 7-9: Mögliche Auswahl der Prüfungen
- Bild 7-10: Auswahl Hauptprüfung
- Bild 7-11: Beispielhafte Darstellung zur Durchführung der erforderlichen Verkehrssperrungen
- Bild 7-12: Einsatzplanung/Vorbereitung
- Bild 7-13: Durchgeführte Einsatzplanung und Vorbereitung
- Bild 7-14: Mögliche Auswahl zur Durchführung der Hauptprüfung
- Bild 7-15: Darstellung zum Hinzufügen von Schäden am PC
- Bild 7-16: Beispielhafte Ansicht am Tablet
- Bild 7-17: Mögliche Nachbearbeitung am PC oder Tablet
- Bild 7-18: Mögliche Nachbearbeitung am PC oder Tablet
- Bild 7-19: Bewertung der einzelnen Bauteile
- Bild 7-20: Durchführung der Bewertung allgemein
- Bild 7-21: Schema Einreichung Prüfbericht
- Bild 7-22: Mögliche Darstellung zur Einreichung des Prüfberichts – Übersicht
- Bild 7-23: Mögliche Darstellung zur Einreichung des Prüfberichts
- Bild 7-24: Datengrundlagen für den Anwendungsfall Bauwerksprüfung
- Bild 7-25: Datenoutput des Anwendungsfalls Bauwerksprüfung, Teil 1
- Bild 7-26: Datenoutput des Anwendungsfalls Bauwerksprüfung, Teil 2
- Bild 7-27: Modellinformationen des Anwendungsfalls Bauwerksprüfung
- Bild 7-28: Bereitstellung der erforderlichen Unterlagen
- Bild 7-29: Auswählen des Vorgangs „Zielniveau festlegen“ und Eintragen des Zielniveaus in das Frontend
- Bild 7-30: Upload Punktwolke
- Bild 7-31: Abgleich der Punktwolke mit dem Modell
- Bild 7-32: Beispielhafte Skizze aus einer konventionellen Prüfanweisung
- Bild 7-33: Dokumentation der Nachrechnung, Upload der Ergebnisse
- Bild 7-34: Datengrundlagen für den Anwendungsfall Nachrechnung, Teil 1
- Bild 7-35: Datengrundlagen für den Anwendungsfall Nachrechnung, Teil 2
- Bild 7-36: Datenoutput des Anwendungsfalls Nachrechnung
- Bild 7-37: Modellinformationen des Anwendungsfalls Nachrechnung
- Bild 7-38: Upload der Berechnungsergebnisse

- Bild 7-39: Dateninput des Anwendungsfalls Schwertransporte
- Bild 7-40: Datenoutput des Anwendungsfalls Schwertransporte
- Bild 7-41: Modellinformationen des Anwendungsfalls Schwertransporte
- Bild 7-42: Informationen über das Frontend
- Bild 7-43: Übersicht über die geplanten Erhaltungsmaßnahmen vor Ort
- Bild 7-44: Dokumentation der Erhaltungsmaßnahme vor Ort
- Bild 7-45: Datengrundlage für den Anwendungsfall Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen
- Bild 7-46: Datenoutput des Anwendungsfalls Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen
- Bild 7-47: Modellinformationen des Anwendungsfalls Erhaltungsmaßnahmen
- Bild 7-48: Datengrundlage für den Anwendungsfall Bauwerkserweiterung
- Bild 7-49: Datenoutput des Anwendungsfalls Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau
- Bild 7-50: Modellinformationen des Anwendungsfalls Bauwerkserweiterung
- Bild 7-51: Auswahl der zu betrachtenden Bauwerke oder Bauteile
- Bild 7-52: Konzeptionelle Darstellung einer Maßnahmendefinition (siehe Kapitel 5.4) aus einer bestehenden Lösung
- Bild 7-53: Konzeptionelle Darstellung von beispielhaften Auswertungen aus einer bereits bestehenden Lösung
- Bild 7-54: Auszug aus der Tabelle „Informationsanforderungen“ (siehe Anhang 1)
- Bild 8-1: BW 27/1 A99 Integration BIM-Modell in GIS-Umgebung
- Bild 8-2: BW 27/1 A99 BIM-Modell
- Bild 8-3: Attributtabelle für Betrieb- und Erhaltung (Auszug)
- Bild 8-4: Attribute eines Bauteiles des BW 27/1
- Bild 8-5: Metadaten zur Verlinkung von Daten und Dokumenten
- Bild 8-6: Auszug Metadatensatz BW 27/1
- Bild 8-7: Verlinkung von Daten und Dokumenten mit dem As-built Modell
- Bild 8-8: User Interface Frontend
- Bild 8-9: User Interface Frontend Übersichtsseite Beispiel 1
- Bild 8-10: User Interface Frontend Übersichtsseite Beispiel 2

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2018

B 143: **Analyse des menschlichen Verhaltens bei Aktivierung von stationären Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln**

Mühlberger, Gast, Plab, Probst € 15,50

B 144: **Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke**

Neumann, Brauer € 16,50

B 145: **8. BAST-Tunnelsymposium vom 6. Juni 2018 in der Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach – Tagungsband**

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2019

B 147: **Vorbereitung von Großversuchen an Stützkonstruktionen aus Gabionen**

Blosfeld, Schreck, Decker, Wawrzyniak

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

B 146: **Beurteilung der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschäden**

Paschen, Dürrer, Gronau, Rentmeister

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 148: **Übergreifungslängen von Betonstahlbewehrung Maßgebende Einflussparameter in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit**

Maurer, Bettin

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 149: **Untersuchungen zum Einfluss von Modellparametern auf die Lebensdauerprognose für Brückenbauwerke**

Keßler, Gehlen € 16,00

B 150: **Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze**

Hegger, Herbrand, Adam, Maurer, Gleich, Stuppak, Fischer, Schramm, Scheufler, Zilch, Tecusan

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 151: **Verfahren und Modelle zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit von dauerüberwachten Bestandsbrücken**

Ralbovsky, Prammer, Lachinger, Vorwagner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 152: **Bemessung von Kopfbolzendübeln in Randlage unter Vermeidung eines Versagens infolge Herausziehens**

Kuhlmann, Stempniewski

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 153: **Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn – Pilotprojekt**

Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski € 15,00

B 154: **Korrosionsschutz von Brückenseilen – Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern**

Friedrich € 9,00

B 155: **Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken**

Wirker, Donner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 156: **Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Monitoringmaßnahmen – Entwicklung eines Konzepts für die Analyse von Nutzen und Kosten**

Schubert, Faber, Betz, Straub, Niemeier, Ziegler, Walther, Majka

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 157: **9. BAST-Tunnelsymposium – Tagungsband**

€ 16,00

B 158: **Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags**

Friedrich, Eilers, Quaas, Robrecht, Schamne, Staeck

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 159: **Lebenszyklusmanagement für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur – Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden, indikatorgestützten Systems**

Lebhardt, Seiler, Gerdas € 15,50

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 von 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
Mess-technische 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, Rade-
macher, 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 (Un-
manned 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 – Erfas-
sung von Spannungszuständen in Spannbetonversuchsträ-
gern 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 Tunnelin-
nenschalen 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 – Belagsdehnungen**

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 Deutsch-
land**

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 Stützkonstrukti-
onen 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.

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 Web-
site 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.