

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

LEONHARD OBERMEYER CENTER

LEHRSTUHL FÜR COMPUTERGESTÜTZTE MODELLIERUNG UND SIMULATION

MACHBARKEITSSTUDIE BIM FÜR BESTANDSBRÜCKEN

FE 89.0309

Dominic Singer
André Borrmann

15.03.2016

SCHLUSSBERICHT

Beauftragt durch die
Bundesanstalt für Straßenwesen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

LEONHARD OBERMEYER CENTER

LEHRSTUHL FÜR COMPUTERGESTÜTZTE MODELLIERUNG UND SIMULATION

Dominic Singer M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

Briefanschrift:

80290 München

Hausanschrift:

Arcisstraße 21

80333 München

Tel.: +49 89 289 – 23047

Fax.: +49 89 289 – 25051

E-Mail: sekretariat.ciecms.bv@tum.de

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
1 Einführung	6
1.1 Problemstellung & Zielsetzung.....	8
1.2 Gliederung des Schlussberichts.....	9
2 Arbeitspakete	10
2.1 AP-1: Analyse der Anwendbarkeit von BIM für das Erhaltungsmanagement für Bestandsbrücken aus Beton	10
2.1.1 Dokumentation vorhandener Ansätze im In- und Ausland.....	10
2.1.2 BIM als Datengrundlage für das Erhaltungsmanagement von Brücken	17
2.1.3 Neutrales Datenaustauschformat IFC-Bridge.....	23
2.2 AP-2: Systematische Erfassung von Anforderungen an BIM- Modelle	33
2.2.1 Systematische Erfassung der Anforderungen aus bestehenden Normen und Richtlinien.....	34
2.2.2 Systematische Erfassung der Anforderungen aus Projekten des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“	43
2.2.3 Anforderungen an den geometrischen Detaillierungsgrad des Modells.....	47
2.3 AP-3: Ausarbeitung eines BAST-Attributkatalogs für das Erhaltungsmanagement	52
2.4 AP-4: Methoden für die Ergänzung fehlender Informationen	55
2.4.1 Datengruppe Geometrie	55
2.4.2 Datengruppe Material	60
2.4.3 Datengruppe Schäden.....	61
2.4.4 Semantische Anreicherung	63
3 Zusammenfassung und Fazit	65

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Schematische Darstellung des Stufenplans (BMVI 2015b).....	7
Abbildung 2:	Nutzerschnittstelle des von (Hammad et al. 2006) entwickelten Prototyps.....	11
Abbildung 3:	SketchUp-Modell mit Zusatzdaten verknüpft.....	12
Abbildung 4:	Modulare Struktur des im Rahmen des Projekts „Nachhaltig Bauen mit Beton“ entwickelten Prototyps	13
Abbildung 5:	Hierarchische Strukturierung der Brückenelemente.....	14
Abbildung 6:	Grafische Nutzerschnittstelle des NBB-Prototyps	15
Abbildung 7:	Zuordnung von Informationen zu Betondeckung und Oberflächenschutzsystem zu einzelnen Flächen von Bauteilen	15
Abbildung 8:	Building Information Modelling über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks nach (Borrmann et al. 2015)	18
Abbildung 9:	Bauliche/ betriebliche Maßnahmen im Brücken- und Ingenieurbau (BASt)	19
Abbildung 10:	Digitales Bauwerksmodell einer Massivbrücke	20
Abbildung 11:	Attribute über den Lebenszyklus eines Bauwerks.....	21
Abbildung 12:	Existierendes System SIB-Bauwerke (WPM - Ingenieure 2015).....	22
Abbildung 13:	Screenshot der TUM Open Infra Platform (Amann et al. 2016)	25
Abbildung 14:	Konvertierungsmöglichkeiten der TUM Open Infra Platform.....	26
Abbildung 15:	Illustration der Struktur des vorgeschlagenen IFC-Bridge-Datenmodells (Lebègue 2013).....	27
Abbildung 16:	Vorgeschlagene Entitäten zur Beschreibung der räumlichen Struktur im Rahmen der IFC-Bridge-Erweiterungen (G. Arthaud, E. Lebegue 2007).....	28
Abbildung 17:	Vorgeschlagene Entitäten zur Beschreibung physischer Elemente im Rahmen der IFC-Bridge-Erweiterung (G. Arthaud, E. Lebegue 2007).....	28

Abbildung 18: 3D-Brückenmodell mit 3D-Pins zur Lokalisierung von RFID-Korrosionssensoren (BASt 2013c).....	43
Abbildung 19: Prinzipieller Aufbau eines Einflussbaumes (BASt 2014a).....	47
Abbildung 20: Entwicklung des BASt-Attributkatalog in Excel am Beispiel Bauteile.....	54
Abbildung 21: Parametrisches Modell einer Brücke	56
Abbildung 22: Entscheidungsdiagramm Modellierung	58
Abbildung 23: Beispiel einer Punktwolke einer Bestandsbrücke (Pointcap 2015) .	60
Abbildung 24: Schema Semantische Anreicherung.....	64

1 EINFÜHRUNG

Das Bauwesen durchläuft derzeit einen tiefgreifenden technologischen Wandel. Während Bauwerke traditionell mit Hilfe von 2D-Zeichnungen geplant werden, setzt Building Information Modeling (BIM) auf einen vollständig digitalisierten Planungsprozess (Eastman et al. 2011; Borrmann et al. 2015). Im Mittelpunkt steht dabei ein virtuelles 3D-Bauwerksmodell (Eastman 1999), welches neben geometrischen und topologischen auch semantische Informationen beinhaltet. Wurde das Bauwerksmodell einmal erstellt, so kann es für viele nachgelagerte Aufgaben in Planungs- und Betriebsphase verwendet werden und führt damit zu einer erhöhten Kosten- und Terminalsicherheit sowie zu einer erheblichen Effizienz- und Qualitätssteigerung in allen Lebenszyklusphasen eines Bauwerks. Besonders hervorzuheben ist die Erstellung der Bauwerksmodelle im Rahmen eines kollaborativen Planungsprozesses und auf Grundlage einer synchronisierten Datenbasis. Die Projektbeteiligten bzw. Fachplaner arbeiten an ihren jeweiligen Teilmodellen, welche regelmäßig zu einem Gesamtmodell zusammengeführt und abgeglichen werden. Auf diese Weise können Planungsfehler vermieden und Kosten eingespart werden. BIM eignet sich daher sehr gut zur Unterstützung einer partnerschaftlichen Herangehensweise in allen Phasen, da die Transparenz der Entscheidungsprozesse gegeben ist. Allerdings ist eine partnerschaftliche Herangehensweise per se keine Voraussetzung für die BIM-Methodik. Die Technologie kann auch bei herkömmlichen Vertragsverhältnissen zum Einsatz kommen.

Insbesondere für die Betreiber von Bauwerken ergeben sich enorme Vorteile aufgrund der gut strukturierten, durchsuch- und analysierbaren Datenbasis, die durch die digitalen Bauwerksmodelle bereitgestellt werden. Diese Modelle sind zudem eine gute Basis für die Bewertung des Bauwerkszustands mit Hilfe entsprechender (ggf. probabilistischer) Methoden. Notwendige Voraussetzung dafür sind allerdings Modelle, welche eine saubere Aufgliederung in eine sinnvolle Bauteilstruktur und die Definition bzw. Erfassung relevanter Eigenschaften und Elementattribute ermöglichen.

Am 15.12.2015 stellte der Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur den BIM-Stufenplan für Deutschland vor (BMVI 2015b). Dieser sieht die Einführung der BIM-Methodik für alle öffentlichen Bauvorhaben im Bereich des Infrastrukturbaus bis zum Jahre 2020 vor. Damit wurde seitens des Ministeriums eine zentrale Empfehlung

der Reformkommission Großprojekte, nämlich die Nutzung digitaler Planungsmethoden, umgesetzt (BMVI 2015a).



Abbildung 1: Schematische Darstellung des Stufenplans (BMVI 2015b)

Neben den aktuell laufenden Pilotprojekten sollen bis dahin weitere Bauvorhaben BIM-basiert abgewickelt werden, um so die Industrie, die Bauherren und die zuständigen Behörden auf die kommende Umstellung vorzubereiten. Den Bauherren kommt im Rahmen der BIM-gestützten Projektabwicklung eine wichtige Aufgabe zu: Sie müssen als Auftraggeber die Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) definieren. Darin wird u.a. festgelegt, welche Informationen zu welchem Zeitpunkt von den Auftragnehmern (Planern und Ausführenden) in welcher Form an den Auftraggeber übermittelt werden müssen. Zur Spezifikation der bereitzustellenden Modelle gehört der geometrische Detaillierungsgrad ebenso wie Festlegungen hinsichtlich der hinterlegten alphanumerischen Informationen. Diese spielen eine wesentliche Rolle für die Nutzbarkeit des Modells für verschiedene Anwendungsszenarien, von denen das Erhaltungsmanagement eine besonders wichtige Rolle spielt.

Die vorliegenden Ergebnisse dieser Studie können nicht nur im Rahmen der Bestandserhaltung angewendet werden, sondern können ebenso als Grundlage für AIAs im Rahmen von Neubauprojekten dienen, um bereits in der Planungsphase die später für den Betrieb benötigten Daten zu spezifizieren. Die AIA sind wesentliche Grundlage für die Entwicklung des BIM-Abwicklungsplans (BAP, englisch BIM Execution Plan BEP), der vom AN im Zuge der Angebotserstellung ausgearbeitet wird und der die konkrete Umsetzung des BIM-Projekts wiedergibt.

1.1 PROBLEMSTELLUNG & ZIELSETZUNG

Gesamtziel dieses Forschungsprojekts ist die Erstellung einer Machbarkeitsstudie über die Anwendung und den Mehrwert des Einsatzes von Building Information Modeling für das Erhaltungsmanagement bei Bestandsbrücken aus Beton. Grundlage für die Studie sind die bisherigen Arbeiten im Rahmen des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“ sowie die umfangreiche Expertise des Lehrstuhls CMS in den Bereichen „BIM for Infrastructure“, modellgestütztes Erhaltungsmanagement sowie photogrammetrische Erfassung.

Im Rahmen des Forschungsprojektes galt es, eine Reihe von Fragestellungen zu beantworten. Zunächst war zu klären, in welchen Grenzen der Einsatz von Building Information Modeling für Bestandsbrücken zur Unterstützung der Erhaltungsplanung geeignet und mit welchem Aufwand dabei zu rechnen ist. Dazu wurde eine umfassende Literaturstudie durchgeführt und bereits vorhandene Ansätze im In- und Ausland dokumentiert.

Weiterer zu untersuchender Punkt war, inwiefern BIM für die Bereitstellung von Strukturmodellen zur Unterstützung der „Intelligenten Brücke“ eingesetzt werden kann. Es wurde erarbeitet, welche Anforderungen diesbezüglich an das digitale Bauwerksmodell bestehen. Es sollen Anforderungen z. B. hinsichtlich der Modellierung von Geometrie, Materialparametern, Aufbau/Feinstruktur, Bewehrungslagen sowie der Abbildung für den Brückenbau typischer Bauteile identifiziert werden. Es war zu klären, welche Informationen zusätzlich zu den bereits vorhandenen digitalen Informationen über Brücken in Verbindung mit vorhandenen nicht-digitalen Informationen aus früheren Planungsphasen bereitgestellt werden müssen.

Schließlich wurde die Fragestellung geklärt, mit welchen Methoden fehlende Informationen bei Bestandsbrücken erlangt werden können. Dazu waren im Besonderen die Grenzen der verschiedenen Verfahren zu identifizieren und der Aufwand abzuschätzen. Im Rahmen dieses Berichts werden Untersuchungsmethoden für die Ergänzung der jeweiligen Datengruppen aufgezeigt werden. Dabei wird der jeweilige Grad der möglichen Datenvervollständigung abgeschätzt.

1.2 GLIEDERUNG DES SCHLUSSBERICHTS

In Kapitel 2 dieses Berichtes werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete vorgestellt. Im Abschnitt 2.1 wird zunächst die Anwendbarkeit von BIM für Bestandsbrücken analysiert. Unter anderem werden vorhandene Ansätze aus dem In- und Ausland dokumentiert, BIM als Datengrundlage für das Erhaltungsmanagement von Bestandsbrücken diskutiert und das neutrale Datenaustauschformat IFC vorgestellt.

In Abschnitt 2.2 werden anschließend Anforderungen an BIM-Modelle erfasst. Dazu werden neben Untersuchungen bestehender Normen und Richtlinien ebenso Vorarbeiten aus Projekten des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“ berücksichtigt. Außerdem werden Anforderungen an die geometrische Detaillierung des Modells definiert. Nach Erfassung dieser Anforderungen wird in Abschnitt 2.3 daraus ein BAST-Attributkatalog entwickelt.

Schließlich wird in Abschnitt 2.4 auf Methoden zur Ergänzung fehlender Informationen eingegangen. Darunter fallen Methoden für die Datengruppe Geometrie, Material und Schäden. Außerdem wird die Methodik der semantischen Anreicherung vorgestellt.

In Kapitel 3 werden eine kurze Zusammenfassung und ein Fazit dieses Forschungsprojekts gegeben.

2 ARBEITSPAKETE

2.1 AP-1: ANALYSE DER ANWENDBARKEIT VON BIM FÜR DAS ERHALTUNGSMANAGEMENT FÜR BESTANDSBRÜCKEN AUS BETON

In diesem Arbeitspaket wurde untersucht, inwieweit BIM für das Erhaltungsmanagement von Bestandsbrücken aus Beton geeignet ist. In diesem Zusammenhang wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zur Dokumentation ggf. vorhandener Ansätze im In- und Ausland durchgeführt. Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit die derzeit verfügbaren Entwürfe des internationalen Datenaustauschstandards IFC-Bridge als Grundlage für das Erhaltungsmanagement einsetzbar sind und an welchen Stellen Erweiterungen zur Aufnahme zusätzlicher Informationen notwendig sind.

2.1.1 Dokumentation vorhandener Ansätze im In- und Ausland

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, Photos 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 Model-based 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 un- ausgereifte Variante von IFC-Bridge zur Verfügung, sodass nur eine entsprechend eingeschränkte Nutzung möglich war.

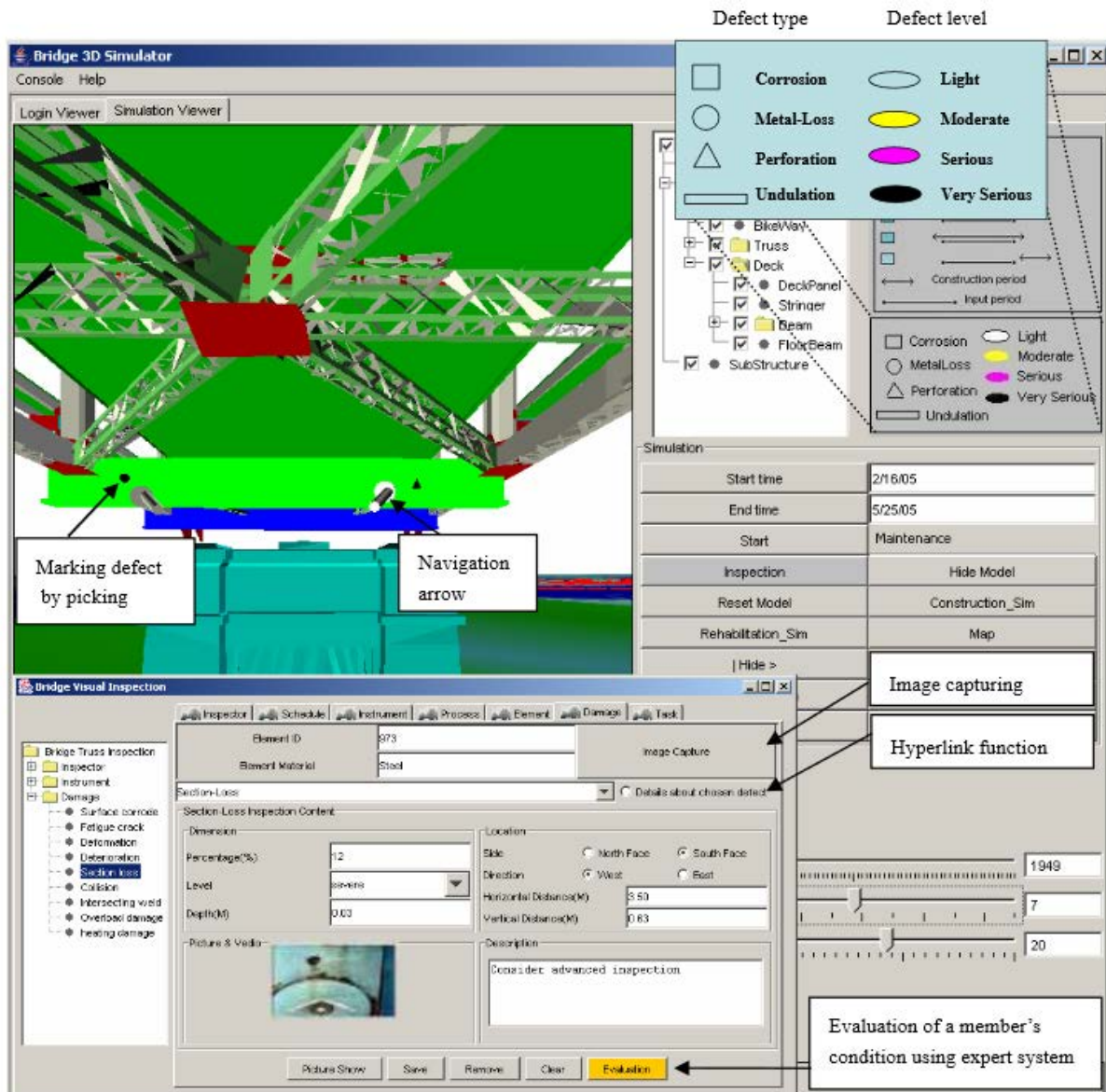


Abbildung 2: Nutzerschnittstelle des von (Hammad et al. 2006) entwickelten Prototyps

Im Auftrag des Nebraska Department of Road (NDOR) wurde 2015 ein BIM-gestütztes Bridge Management System entwickelt. Die Autoren schreiben: *“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 mechanism.*

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 kommerzielle System Trimble SketchUp. Die Verknüpfung mit Material- und Inspektionsinformationen einschließlich Schädigungsbeschreibungen und Fotos ist jedoch vergleichsweise rudimentär umgesetzt.

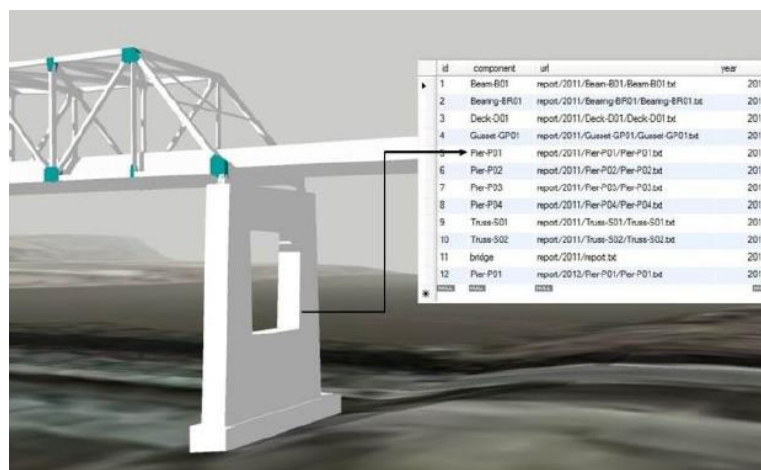


Abbildung 3: SketchUp-Modell mit Zusatzdaten verknüpft

Im Deutschland wurden Forschung und Entwicklung im Bereich des modellgestützten Erhaltungsmanagements maßgeblich vom Lehrstuhl CMS der TU 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; Günthner und Borrmann 2011; Kluth et al. 2008).

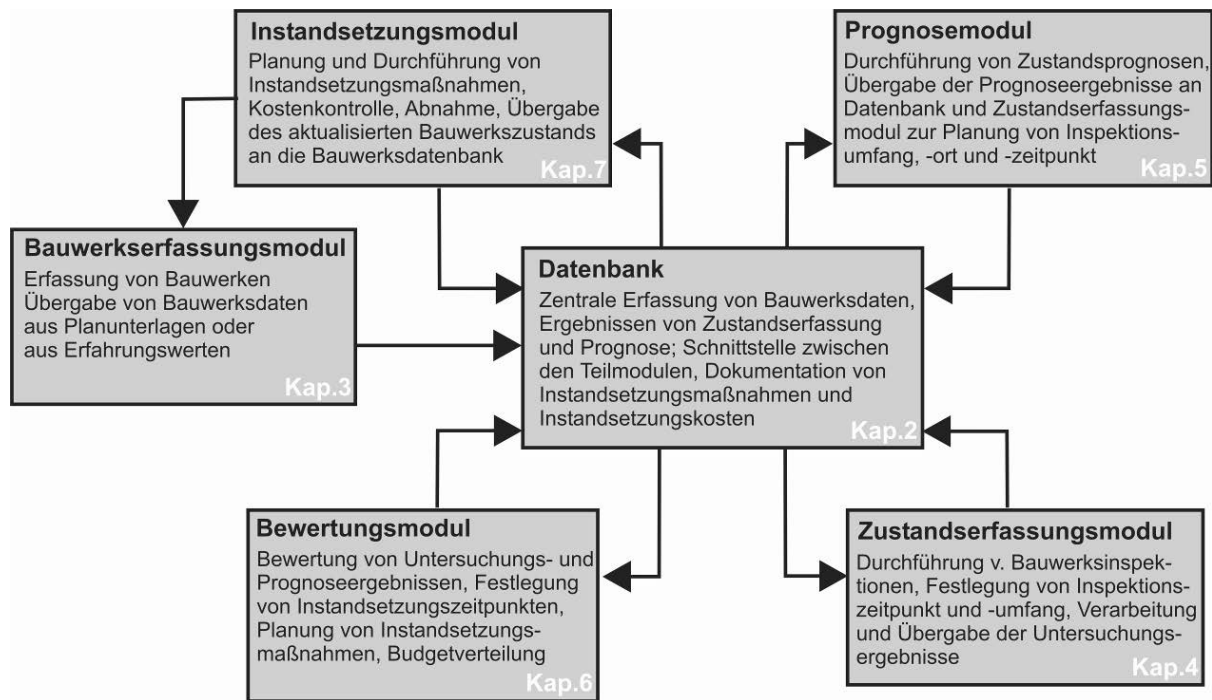


Abbildung 4: Modulare Struktur des im Rahmen des Projekts „Nachhaltig Bauen mit Beton“ entwickelten Prototyps

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 (Abbildung 5). 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.

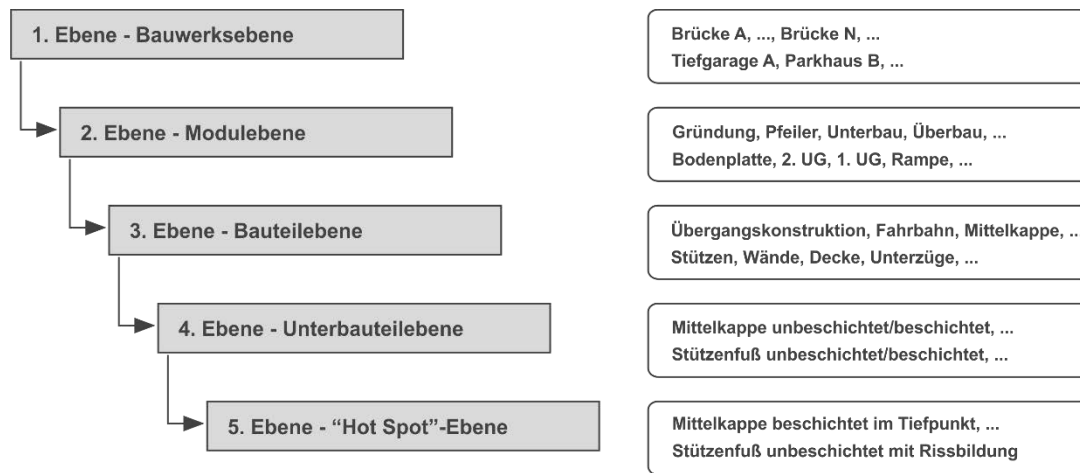


Abbildung 5: Hierarchische Strukturierung der Brückenelemente

Für den hier untersuchten Gegenstand des BIM-gestützten Erhaltungsmanagements ist insbesondere die konsequente Nutzung eines semantisch erweiterten 3D-Modells als Basis des Datenmanagement hervorzuheben. Konkret bedeutet das, dass die Bauwerksstruktur in einem logischen Aggregationsmodell abgebildet und jedes Bauteil mit einer 3D-Repräsentation versehen wurde. In Abbildung 6 ist der linken Seite die logische Bauwerksstruktur zu sehen, rechts ist das 3D-Modell des Gesamtbauwerks dargestellt. Die einzelnen geometrischen Körper konnten dann mit weiteren Informationen zu Materialien, Oberflächenschutzsystemen und Einwirkungen versehen werden (Abbildung 7). Dies entspricht weitestgehend einem BIM-gestützten Ansatz. Auch erste Untersuchungen zum Anheften von Photographien von Schädigungen an das 3D-Modell wurden vorgenommen. Dies wurde in einem Studentenprojekt „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).

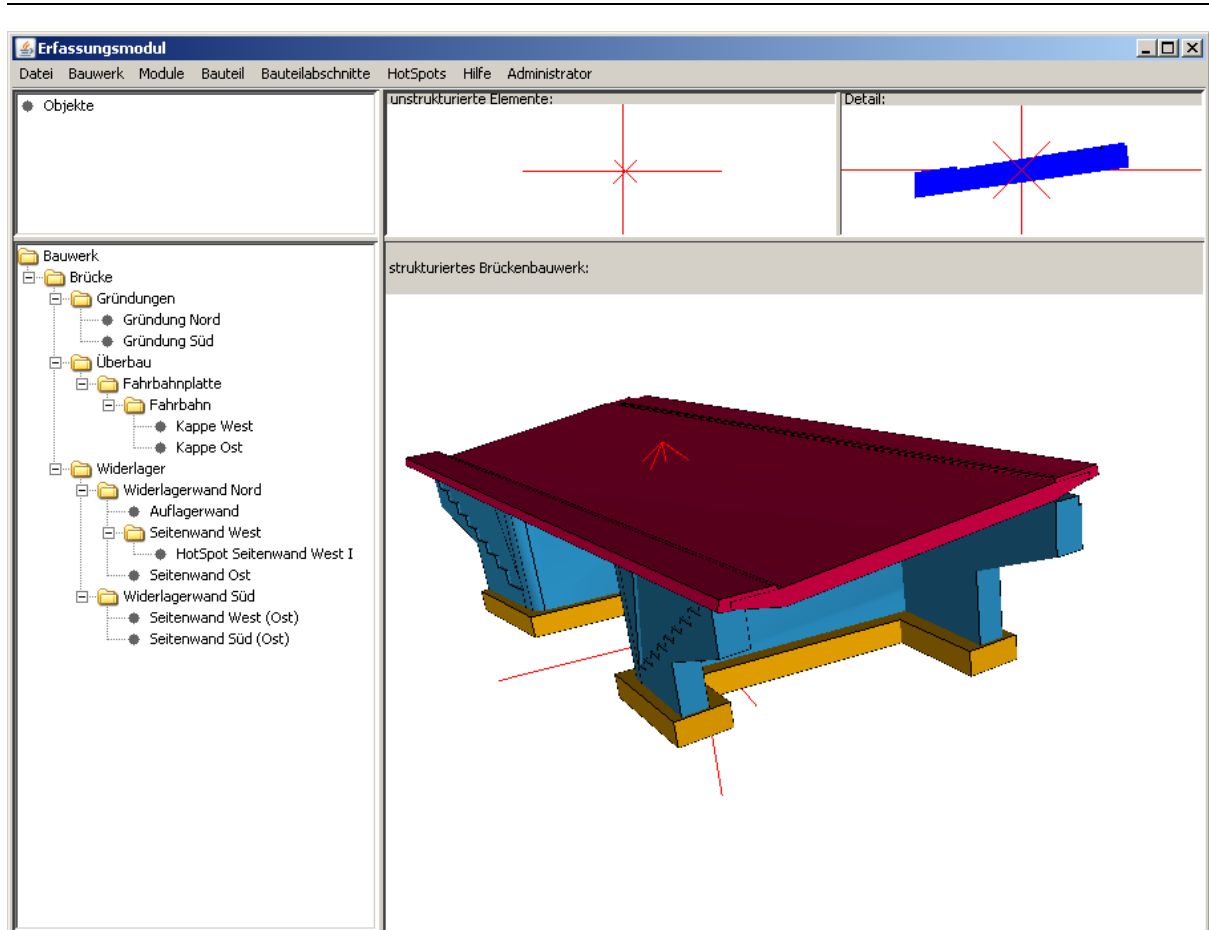


Abbildung 6: Grafische Nutzerschnittstelle des NBB-Prototyps

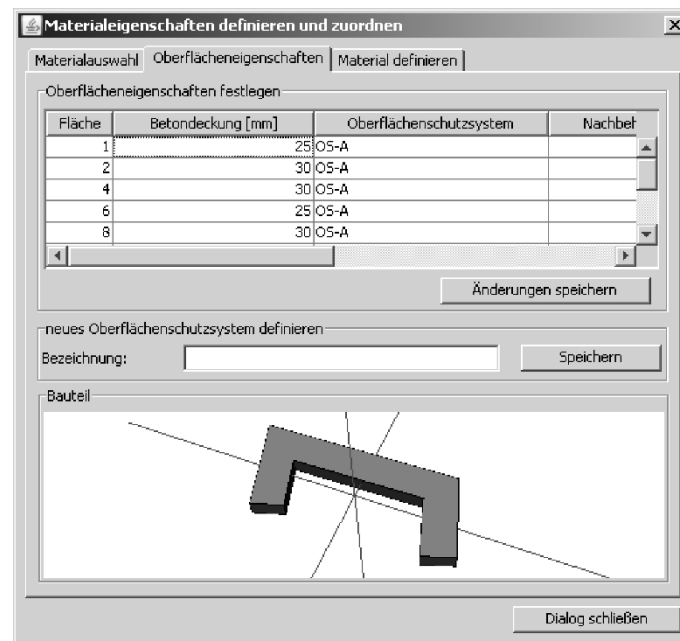


Abbildung 7: Zuordnung von Informationen zu Betondeckung und Oberflächenschutzsystem zu einzelnen Flächen von Bauteilen

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 2013c). 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 weder Zielvorstellungen noch Anforderungen für die Verwendung von BIM für Bestandsbrücken definiert und der Mehrwert des Einsatzes von BIM zur Erhaltungsplanung noch nicht untersucht. Bisher eingesetzte Systeme für die Zustandsbewertung (SIB-Bauwerke) sind 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 aufwändig 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, 2007; Tang et al. 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 jedoch eine noch offene Forschungsfrage, siehe Abschnitt 2.4.4.

Der Einsatz von Building Information Modeling im Infrastrukturbau wird derzeit anhand von vier BIM-Pilotprojekten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur untersucht. Dazu zählen insgesamt drei Brückenbauprojekte und ein Tunnelbauprojekt. Ziel ist 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 liegt dabei darauf, wie Zeit- und Kostenpläne von Großprojekten mit Hilfe digitaler Werkzeuge künftig besser eingehalten werden können. Die Thematik des Erhaltungsmanagements wird in keinem der bislang gestarteten Pilotvorhaben adressiert.

2.1.2 BIM als Datengrundlage für das Erhaltungsmanagement von Brücken

Building Information Modeling (BIM) setzt auf einen vollständig digitalisierten Planungsprozess über alle Lebenszyklusphasen eines Bauwerks (Eastman et al. 2011; Borrmann et al. 2015), siehe Abbildung 8. Im Mittelpunkt steht dabei ein virtuelles 3D-Bauwerksmodell (Eastman 1999), welches neben geometrischen und topologischen auch semantische Informationen beinhaltet. Unter dem Begriff BIM werden also im Wesentlichen zwei Dinge verstanden, nämlich:

- Building Information Modelling – hier ist die Methodik BIM gemeint
- Building Information Model – hier ist das digitale Bauwerksmodell gemeint.

Der Arbeitskreis Bauinformatik¹, der Zusammenschluss der Bauinformatik-Lehrstühle an den deutschsprachigen Universitäten, definiert die beiden Begriffe wie folgt:

Building Information Model:

„Digitales Modell eines Bauwerks, das geometrische und semantische Informationen zu allen relevanten Bauobjekten, wie z.B. Bauteile, Baugruppen oder Räume, und deren Beziehungen für die Nutzung im Rahmen des gesamten Lebenszyklus in objektorientierter Form zur Verfügung stellt.“

¹ www.gacce.de

Building Information Modeling:

Prozesse zur Spezifikation eines Building Information Models und seine Verwendung, Verwaltung und Adaption im Rahmen des gesamten Lebenszyklus.

Building Information Modeling wird vom Verein Deutscher Ingenieure als

„optimierte Methode zur Planung, Ausführung und zum Betrieb von Bauwerken mit einem partnerschaftlichen Ansatz. Grundlage bildet die zentrische Bereitstellung von Informationen zur gemeinschaftlichen Nutzung...“

definiert (VDI Richtlinie 2552; Deutsches Institut für Bautechnik 2015).

Weitergehende Informationen zur Thematik BIM sind in der Fachliteratur zu finden.

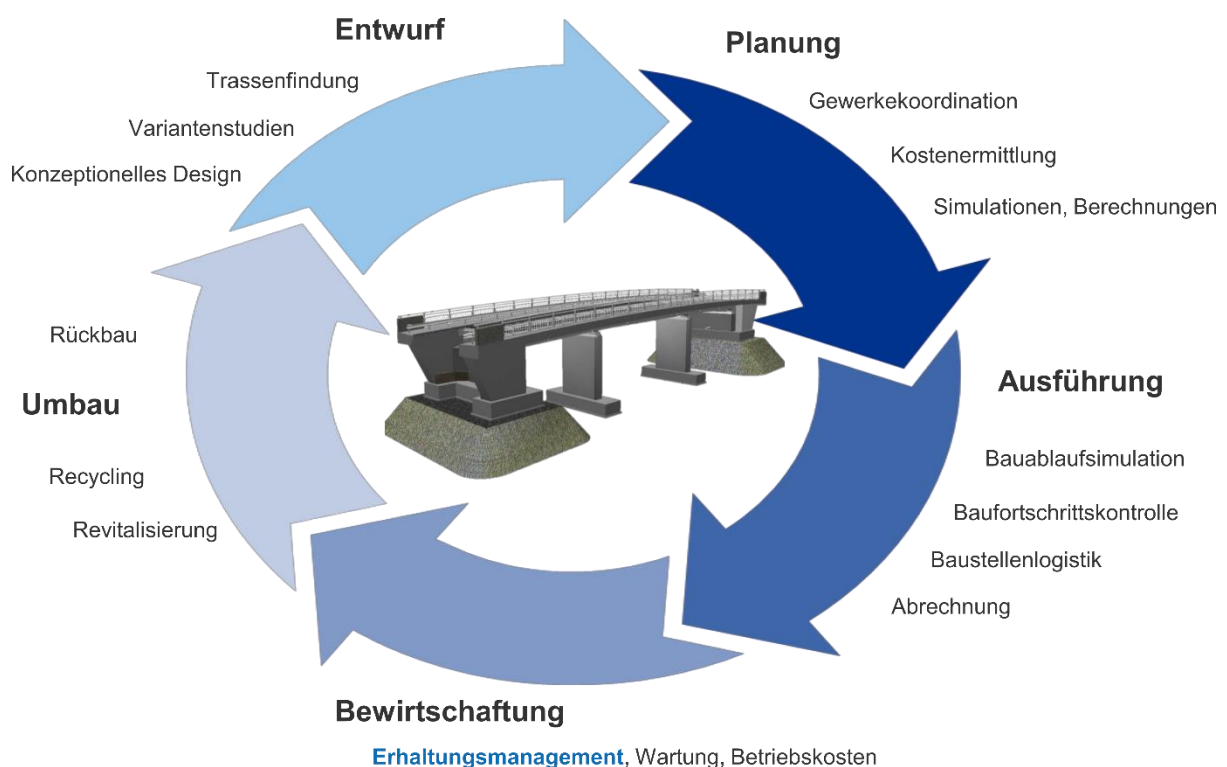


Abbildung 8: Building Information Modelling über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks nach (Borrmann et al. 2015)

Um im Folgenden über BIM als Datengrundlage im Erhaltungsmanagement diskutieren zu können, ist zunächst eine differenziertere Betrachtung, was genau unter Bauwerkserhaltung im Brückenbau verstanden wird, sinnvoll. So sind, wie in Abbildung 9 ersichtlich neben Aspekten des Brückenunterhalts, ebenso Aspekte der Instandsetzung und Ertüchtigung Teil der Bauwerkserhaltung.

Bauliche/ betriebliche Maßnahmen im Brücken- und Ingenieurbau	Bauwerks- erhaltung	Ertüchtigung (Tragfähigkeitserhöhung)	
		Bauwerkserneuerung/Ersatzneubau (ohne kapazitive Erweiterung)	Planung entsprechend RPE-ING
		Überbauerneuerung (ohne kapazitive Erweiterung)	
		Instandsetzung	
	Bauwerks- unterhaltung	Bauliche Unterhaltung (kleinere Baumaßnahmen ohne wesentliche Anhebung des Gebrauchswertes)	
		Betriebliche Unterhaltung (kleinere Eigenregiemaßnahmen ohne wesentliche Anhebung des Gebrauchswertes)	
Neubau, Um-/ Ausbau			

Abbildung 9: Bauliche/ betriebliche Maßnahmen im Brücken- und Ingenieurbau (BAST)

Digitale Bauwerksmodelle sind als Datengrundlage für das Erhaltungsmanagement von Brücken sehr gut geeignet. Die Nutzung von BIM-Brückenmodellen kann dabei auf verschiedene Arten geschehen:

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

Grundlage für die Nutzung von BIM im Erhaltungsmanagement sind semantisch hochwertige as-designed, as-built oder as-maintained BIM-Modelle. Unter dem Begriff as-designed („wie-geplant“) werden Modelle verstanden, welche der Ausführungsplanung entstammen und das „Soll“ des Bauwerks beschreiben. As-built („wie gebaut“) Modelle bilden das tatsächliche Bauwerk nach Ausführung ab, beschreiben also das

„Ist“. Unterschiede zwischen diesen Modellarten können bspw. Daten aus dem Bauablauf wie bspw. das Herstelldatum oder die vermessungstechnische validierte exakte Lage eines Bauteils sein. As-maintained („wie erhalten“) Modelle enthalten zusätzlich Inhalte, welche im Laufe des Betriebs anfallen.

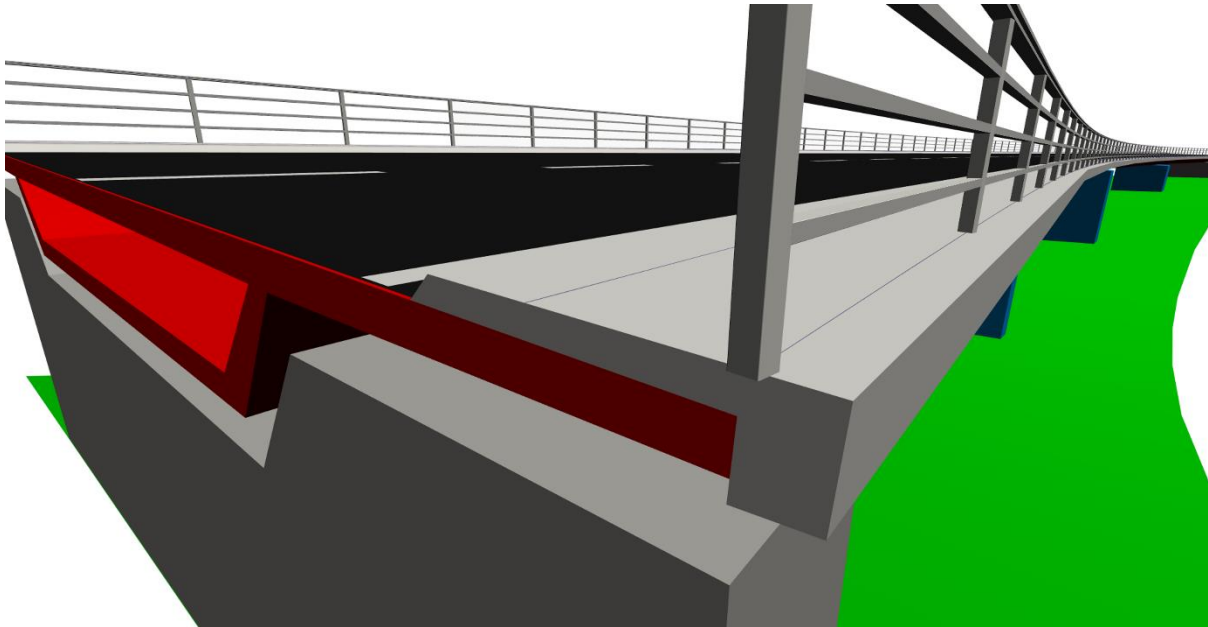


Abbildung 10: Digitales Bauwerksmodell einer Massivbrücke

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Gesamt- oder Koordinationsmodellen, Teilmodellen und Fachmodellen. Fachmodelle beinhalten lediglich die Informationen einer Disziplin z.B. der Architektur oder Tragwerksplanung. Für den Brückenbau sind die Nutzung der Fachmodelle Baugrundmodell, Trassierungsmodell, Brückenmodell und Tragwerksmodell sinnvoll. Teilmodelle stellen nur einen Teil des gesamten Bauwerks dar, z.B. einen Bauabschnitt oder ein Teilbauwerk. Teilmodelle werden häufig bei sehr großen Bauvorhaben verwendet. In Gesamt- oder Koordinationsmodellen werden schließlich alle Teil- und Fachmodelle im Rahmen der Planungskoordination zusammengeführt. Hier können durch Durchführung von Kollisionsprüfungen Widersprüche unter den Modellen erkannt und kommuniziert werden.

Es stellt sich nun die Frage, wer diese Modelle liefert bzw. erzeugt. Für Neubauten, die bereits mit der BIM-Methode geplant werden, ist es möglich, vertraglich die Anfertigung und Übergabe eines Modells zu vereinbaren, dass den Anforderungen des Erhaltungsmanagements genügt. Für Bestandsbrücken werden im Kapitel 2.4 Methoden zur Erlangung fehlender Informationen aufgezeigt.

Vorhandene Informationen zum Zustand des Bauwerks können direkt mit dem digitalen Abbild des Bauwerks oder einzelner Bauteile verknüpft werden. Dabei bestehen zunächst keine Beschränkungen hinsichtlich der Art der Daten. Neben den allgemeinen Bauwerksdaten wie Lage, Gestalt und Aufbau der Brücke können 2D-Pläne, Messprotokolle / -daten, Prüf-, Abnahme-, Begehungsprotokolle, Fotos, Sensordaten, Schadensdokumentationen sowie Informationen zum Bauwerkszustand insgesamt ebenfalls hinterlegt werden (Abbildung 11).

Planung		Ausführungsplanung	
Bauteil		Terminplan	
Name	Statik_ING23_Pfeilerwand_3_Ortbeton	Beginn	22.03.2016
		Ende	29.03.2016
3D Geometrie		Kosten	
Länge	10,50 m	Ausführender	
Höhe	3,50 m	Kosten	143.872,63 €
Breite	0,115 m	LV-Pos	2.3.1
Ergänzende Infos		Material	
Lage	Pfeilerachse 3	Gewerk	Stahlbetonbau
Nutzung	tragend	Material	C 35/45
		Expositionsklasse	XC4, XD3, XF2
Ausführung		Betrieb	
Dokumentation		Bauwerksprüfung (1)	
Abnahmeprotokoll	Protokoll 05.09.2016	Fotos	bilderserver.projektX.de\688315.png
Fotos	bilderserver.projektX.de\9720340.png	Schadensskizze	dokumentenserver.projektX.de\Skizze_28.05.2025.pdf
Baufortschritt	dokumentenserver.projektX.de\Leistungsmeldung	Prüfer	Dipl.-Ing. Lorenz Maurer
Bautagebuch	dokumentenserver.projektX.de\Bericht_25.03.2016.pdf	Zustandsnote	2

Abbildung 11: Attribute über den Lebenszyklus eines Bauwerks

Dabei macht es durchaus Sinn, Teile dieser Daten nicht direkt im digitalen Bauwerksmodell zu speichern, sondern lediglich Verweise auf andere Dokumente bzw. Datenbanken oder Dokumentenserver zu hinterlegen. In Abbildung 11 sind diese Verknüpfungen in Form einer Attributliste gut zu erkennen. Dies wird in der Literatur als „Linked Data“ Ansatz bezeichnet (Curry et al. 2013). Damit ist die weitere Handhabbarkeit des Modells über viele Jahre sichergestellt und die Gefahr, dass Modellinhalte zunehmend unübersichtlicher werden, gebannt.

Die Nutzung einer BIM-gestützten Bestandsverwaltung von Brücken steht nicht im Widerspruch zu existierenden Bridge Management Systemen (BMS) und Bauwerk Management Systemen (BMS) - SIB Bauwerke, ein Teil eines BMS zur Verwaltung von

Brücken ist in Abbildung 12 zu sehen. Vielmehr stellt die BIM-Technologie eine mögliche Erweiterung der bisherigen Softwaresysteme dar. Die Daten werden nun modellbasiert aufbereitet und entsprechend strukturiert.

Bundesland
Landesbetrieb für Straßenbau

SIB-BAUWERKE

Übersichtsblatt

Bauwerksnummer **6605532** 0
Interne Bwnr. 10
REHLINGEN

Name: Niedbrücke

Bemerkung:

Art: Plattenbrücke

Konstrukt.:

Stadium: Bauwerk unter Verkehr

Stat.Sys. L: Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung

Stat.Sys. Q:

Amt: Landesbetrieb für Strassenbau Neunkirchen

SM: SAM Merzig

Zustand: 2,0 HP: 02.08.1996 1996 EP: 31.08.1999 1999

BrKI: DIN: 60/30 MLC RJK: 80 /40 | 80 /40 Baujahr: 1953

NR-Stufe: 0 NR-Klasse: beschränkte Nutzungsdauer bis: 0

Bst. Ubb.: Stahlbeton

Q UBB: Einstegiger Überbau

Q HTW: Mit Querschnitt des Überbaus identisch

Felder: 3 Stw: 19.45 - 25.57 - 19.39

Ges.länge: 64,41 m

Breite: 13,50 m

Br.fläche: 870 m²

Winkel: 124,0 - Rechts gon

UI/UA: UI/UA bei SBV

Baulast: Land

Lage	Straße	Von Nk	Nach Nk	Netzknoten abschnitt	Station Mitte [m]	KM	Min B [m]	Min H [m]	Schilder StVO/Menge
O:	L 170	6606004	6505010		1533	0,000	13,50		
U: Fluss Nied;									

▲

▼

Tabelle

Suchen

Zurück

Zustand

Druck / PDF

Bilder

Zeichnungen

Dokumente

Abbildung 12: Existierendes System SIB-Bauwerke (WPM - Ingenieure 2015)

2.1.3 Neutrales Datenaustauschformat IFC-Bridge

Eine wichtige Voraussetzung zur erfolgreichen Nutzung von BIM im Rahmen des Erhaltungsmanagements ist die Verfügbarkeit von offenen, herstellernerutralen Datenaustauschformaten zum verlustfreien Austausch digitaler Bauwerksmodelle zwischen verschiedenen Anwendungen. Mit den Industry Foundation Classes (IFC), das von der Organisation buildingSMART International (bSI) entwickelt und betreut wird, steht ein umfangreiches Datenformat zum Austausch von Bauwerksmodellen zur Verfügung (Liebich et al. 2007). Das Datenformat wurde als ISO 16739 international normiert. Es steht zu erwarten, dass dieser Standard als CEN-Norm übernommen wird und durch die definierten Übernahme-Mechanismen Eingang in die deutsche Normung (DIN) findet.

In seiner aktuellen Version ist das IFC-Datenmodell auf die Modellierung von Gebäuden beschränkt. Da die digitale Modellierung von Infrastrukturbauwerken weltweit enorm an Bedeutung gewonnen hat, wurde 2010 der Infra Room als dezidierte Untereinheit von bSI gegründet, die sich fortan der Erweiterung des IFC-Standards um Datenstrukturen zur Beschreibung von Infrastrukturbauwerken widmet. Der Infra Room hat sich selbst eine Charta und eine Road Map gegeben (<http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure>). Letztere legt die Prioritäten der Standardisierungsaktivitäten fest, die die Gebiete Straßen- und Schienenbau einschließlich Tunnel- und Brückenbau umfassen. Die geplanten Erweiterungen umfassen demnach IFC-Road, IFC-Rail sowie IFC-Tunnel und IFC-Bridge. Die abzudeckenden Anwendungsfälle beinhalten sowohl die Planung und Ausführung neuer Anlagen wie auch die Bestandsverwaltung (engl. Asset Management).

Die notwendige Finanzierung der Entwicklungs- und Standardisierungsarbeiten wird zum einen über verschiedene nationale Projekte (u.a. in Korea, China, Frankreich) mit bereitgestellter personeller Beteiligung an der internationalen Standardisierung und zum anderen ganz wesentlich über das bereitgestellte Funding der nationalen Infrastruktur-Betreiberorganisationen Travikverket in Schweden, Rijkswaterstaat in den Niederlanden und Liikennevirasto in Finnland abgebildet. Letztere haben zur Koordination ihrer Aktivitäten ein gemeinsames Memorandum of Understanding² (MoU) un-

² Das MoU ist nicht öffentlich verfügbar, liegt den Autoren dieser Studie jedoch vor.

terschrieben, in dem sie sich zur Unterstützung der Entwicklung offener, internationaler Datenaustauschstandards bekennen.

Das Datenformat IFC ist als äußerst langlebiges Format konzipiert und daher für die Nutzung im Erhaltungsmanagement uneingeschränkt nutzbar. Die Langlebigkeit wird durch folgende Punkte sichergestellt: Es handelt sich um ein offenes und standardisiertes Format, die Hauptversionen von IFC (zuletzt v2x3, demnächst v5) werden als ISO16739 übernommen. Das Datenmodell wird auf Basis von EXPRESS, einer unter ISO10303-11 standardisierten Modellierungssprache, definiert. Das Dateiformat .ifc ist durch den STEP-Standard (STandard for the Exchange of Product model data) über ISO10303 Part 21 standardisiert. Der Datenaustausch erfolgt in computerinterpretierbaren und vom Menschen lesbaren ASCII Format (American Standard Code for Information Interchange). Das Datenmodell ist detailliert dokumentiert und wird durch die Organisation buildingSMART International entwickelt und gepflegt. Die Abwärtskompatibilität wird gewährleistet.

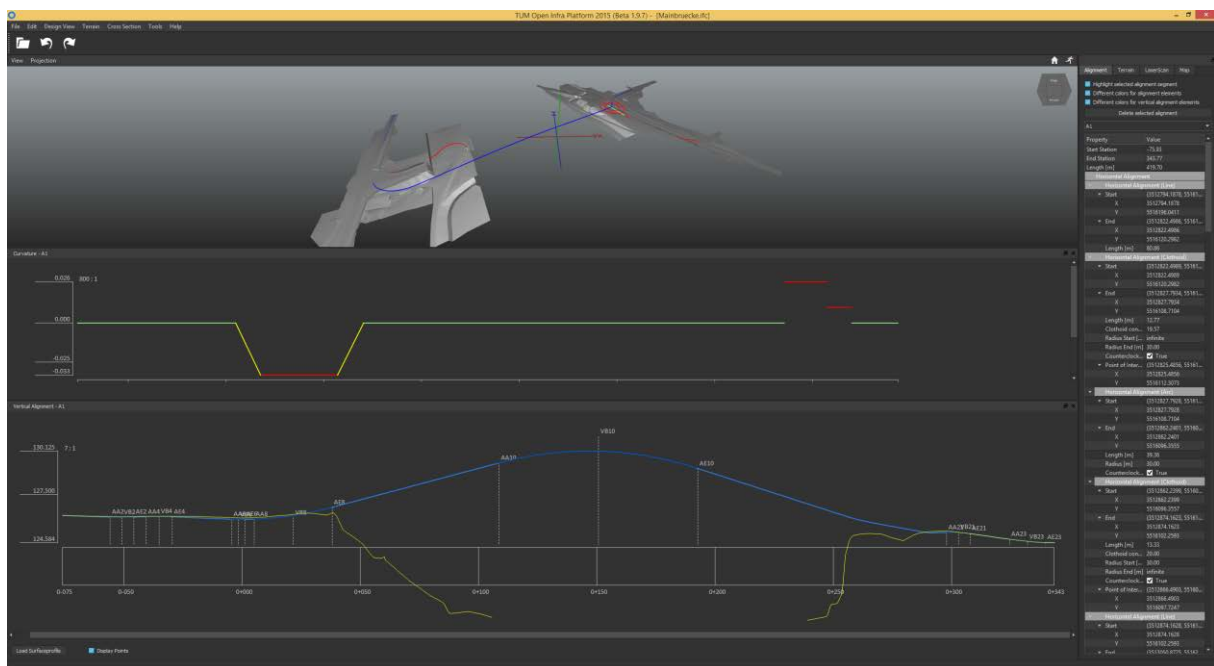
Es ist darauf hinzuweisen, dass die Verwendung von IFC als Übergabeformat unabhängig von der Speicherung der transferierten Daten in einem Bridge Management System ist. Für das Erhaltungsmanagement empfiehlt sich, die IFC-Daten in einer objekt-relationalen Datenbank abzulegen und diese Datenbank mit dem entsprechenden BMS zu koppeln. Zugangsberechtigungen können dann je nach Anforderungen auch sehr feingranular durch ein entsprechendes Rollen-Rechte-Konzept vergeben werden.

IFC-Alignment

Als Grundlage für die Beschreibung linearer Infrastrukturbauwerke wurde 2014/2015 das Format IFC-Alignment (Singer und Amann 2014; Amann et al. 2015), eine Erweiterung von IFC für den Austausch von Trassierungsinformationen, entwickelt. Das IFC-Alignment Datenformat ist durch die Möglichkeit der Abbildung von Trassierungen eine wichtige Grundlage für den Austausch von semantischen Brückenmodellen. Es basiert auf der getrennten Beschreibung von Höhen- und Lageplan mithilfe entsprechender 2D-Trassierungselemente. Dazu gehören im Lageplan Gerade, Kreisbogen und die Klothoide als Übergangsbogen. Im Höhenplan können Geraden und Parabeln eingesetzt werden.

Das Format wurde im Juli 2015 als offizieller buildingSMART-Standard verabschiedet (buildingSmart 2015). Für 2016 ist das Erweiterungsprojekt IFC-Alignment 1.1 geplant, in dessen Rahmen u.a. Möglichkeiten zur Definition weiterer Übergangsbögen geschaffen werden sollen.

Um die Funktionstüchtigkeit des entwickelten Standards nachzuweisen, ist im Rahmen des Standardisierungsprojekts vom Lehrstuhl CMS die TUM Open Infra Platform (Amann et al. 2016) entwickelt worden (Abbildung 13). Sie erlaubt es, Trassierungen im IFC-Alignment Format einzulesen und zu visualisieren sowie Konvertierungen von bestehenden Standards in das neue IFC-Alignment-Format vorzunehmen. Zu den Quell- bzw. Zielkonvertierungsformaten gehört neben IFC-Alignment auch der Pseudo-Standard LandXML sowie das in Deutschland eingesetzte Format OKSTRA (Abbildung 13). Die Erweiterung der TUM Open Infra Platform um Funktionalitäten zur Konvertierung in/von OKSTRA wurde im Auftrag der BAST durchgeführt (Amann und Borrmann 2015a, 2015b).



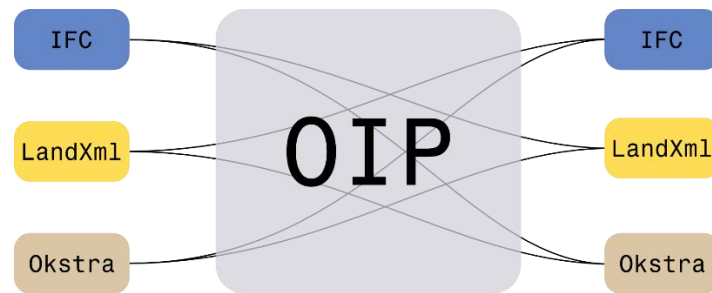


Abbildung 14: Konvertierungsmöglichkeiten der TUM Open Infra Platform

Die Open Infra Platform steht als Open Source Projekt der internationalen Entwicklergemeinschaft frei zur Verfügung und dient damit u.a. als Referenzimplementierung des IFC-Alignment-Standards.

IFC-Bridge

Die IFC-Erweiterung IFC-Bridge dient der semantisch-geometrischen Beschreibung von Brückenbauwerken. Bereits zwischen 2004 und 2007 gab es eine erste Initiative von französischen und japanischen Forschern (Yabuki et al. 2006; Yabuki und Li 2006; Yabuki et al. 2004) zur Definition einer IFC-Bridge-Erweiterung. Das damals entwickelte Datenmodell wurde das letzte Mal im Jahr 2007 aktualisiert. Die dazugehörige Dokumentation ist nicht öffentlich verfügbar, liegt den Autoren jedoch vor.

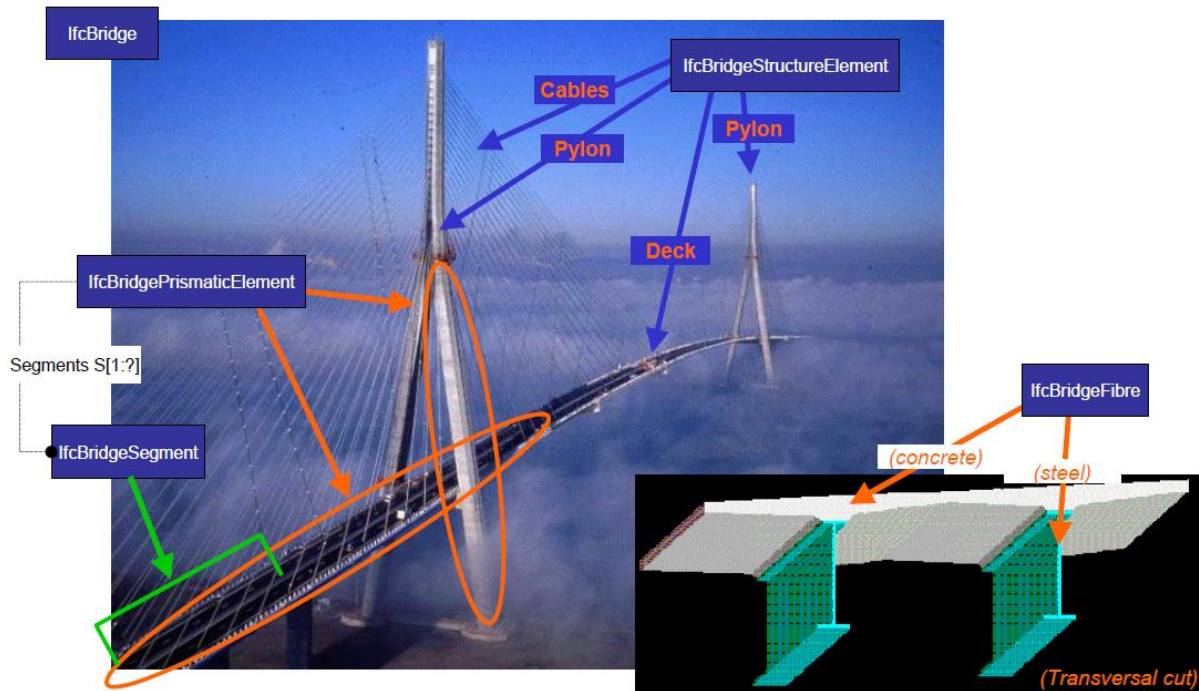


Abbildung 15: Illustration der Struktur des vorgeschlagenen IFC-Bridge-Datenmodells (Lebègue 2013)

Die darin vorgeschlagenen Erweiterungen umfassen die Elemente *IfcCivilStructureElement*, *IfcBridgeStructureElement*, *IfcBridge* und *IfcBridgePart* zur Beschreibung einer räumlichen Aggregationsstruktur, die sich von der geschossweisen Betrachtung von Gebäuden unterscheidet. Darüber hinaus werden als neue brückenspezifische physische Elemente die Entitäten *IfcBridgeElement*, *IfcBridgePrismaticElement* und *IfcBridgeSegment* eingeführt. Typinformationen werden maßgeblich über vordefinierte Aufzählungstypen (Enumerations) realisiert. Weiterhin wird ein Vorschlag zur Beschreibung der zugrundeliegenden Trassierung sowie zur trassenbezogenen Platzierung eingebracht, der mit der Verfügbarkeit des offiziellen IFC-Alignment-Standards jedoch heute obsolet ist. Bei der geometrischen Beschreibung wird maßgeblich auf die im IFC-Kernstandard verfügbaren, sehr umfassenden Möglichkeiten verwiesen. Lediglich die Entität *IfcReferencedSectionedSpine* wird neu eingeführt, die es erlaubt, die Brückengeometrie über die Angabe einer Trassierungskurve und einer beliebigen Zahl von Querschnitten zu beschreiben. Anforderungen aus der Sicht des Erhaltungsmanagements wurden bei der Ausarbeitung des Datenmodells nicht berücksichtigt. Ebenso fehlen Möglichkeiten zur Beschreibung des statischen Systems der betrachteten Brückenbauwerke.

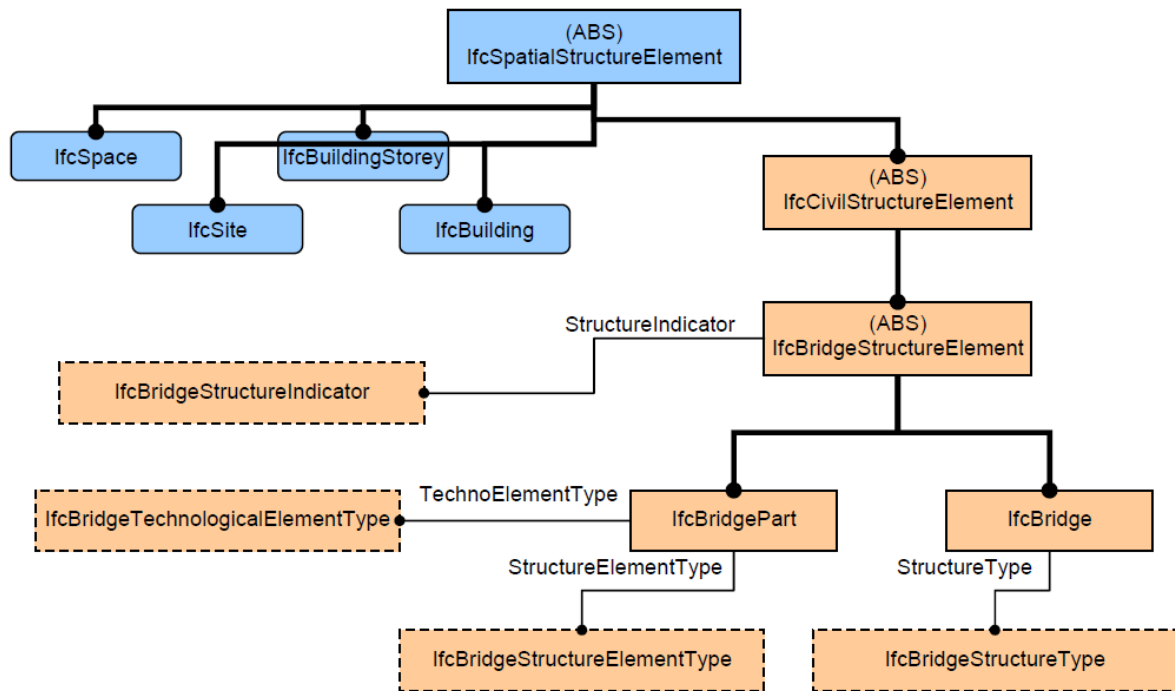


Abbildung 16: Vorgeschlagene Entitäten zur Beschreibung der räumlichen Struktur im Rahmen der IFC-Bridge-Erweiterungen (G. Arthaud, E. Lebegue 2007)

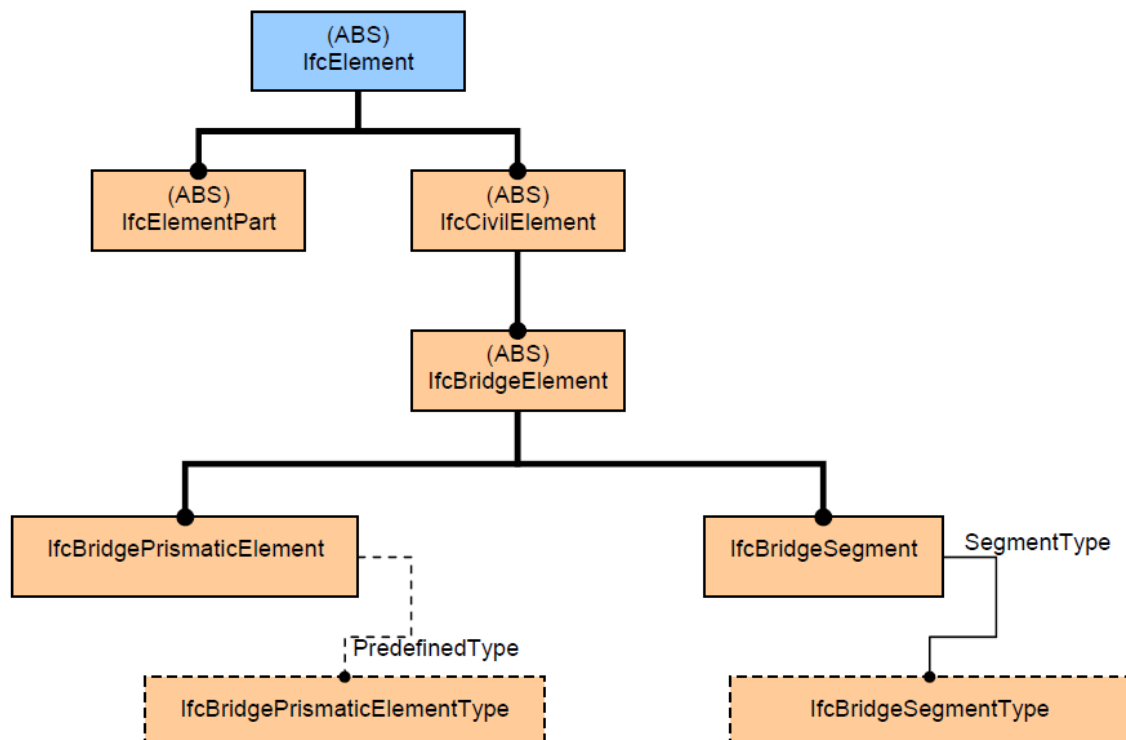


Abbildung 17: Vorgeschlagene Entitäten zur Beschreibung physischer Elemente im Rahmen der IFC-Bridge-Erweiterung (G. Arthaud, E. Lebegue 2007)

Der vorliegende, bis 2007 entwickelte IFC-Bridge Entwurf hat aus Modellierungssicht eine Reihe von Schwächen und hat bislang keinen offiziellen Status erlangt. Zudem gibt es bislang keine kommerziell verfügbare Software, die das Format unterstützt.

Seit 2014 gibt es Bemühungen im Rahmen des Infra Room von buildingSMART, ein internationales IFC-Bridge-Projekt zu initiieren, das die Weiterentwicklung des vorliegenden Entwurfs in einen offiziellen bSI-Standard zum Ziel hat. Hierzu sind eine Reihe von Überarbeitungen notwendig, u.a. die Nutzung des neuen IFC-Alignment-Modells für die Beschreibung der Trassierungsinformationen. Ganz wesentlich wird auch die Definition der zu unterstützenden Anwendungsszenarien sein, die von der reinen 3D-Visualisierung über die Mengenermittlung bis zur baustatischen Berechnung und dem Erhaltungsmanagement reichen können. Erst daraus ergeben sich die tatsächlichen Anforderungen an das Datenmodell. In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass das Asset Management im Fokus einer ganzen Reihe von internationalen Betreiberorganisationen steht, die entsprechende Anforderungen an das bSI IFC-Bridge-Projekt formulieren. Dieses Projekt wird maßgeblich vom französischen Chapter vorangetrieben. Die wesentliche Hürde besteht derzeit in der noch offenen Frage zur Finanzierung des internationalen Spezifikations- und Entwicklerteams.

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden vom Lehrstuhl CMS an der TU München Vorschläge zur Weiterentwicklung und Verbesserung des IFC-Bridge-Formats erarbeitet. In diesem Zusammenhang wurden Import- und Exportmodule für die CAD-Systeme Autodesk Revit und das Statikprogramm SOFiSTiK entwickelt und damit der erfolgreiche Austausch digitaler Brückenmodelle demonstriert. Ein Fokus der Forschungsarbeiten lag auf der Integration einer parametrischen Geometriebeschreibung in IFC-Bridge. Hierzu wurden Datenmodellelemente zur Abbildung von Geometric und Dimensional Constraints sowie mathematischer Ausdrücke eingeführt (Ji et al. 2011b; Ji et al. 2012). In (Ji et al. 2010; Ji et al. 2011a) wurde der Austausch eines parametrischen Brückenüberbaus über verschiedene Softwaresysteme hinweg gezeigt. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten zur detaillierten Beschreibung des Unterbaus erarbeitet (Kuloyants 2014).

Im Rahmen des derzeit laufenden französischen Projekts „Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables“ (MINnD) wurde untersucht, inwieweit Brückenmodelle mithilfe bereits verfügbarer allgemeiner BIM-Werkzeuge modelliert und mithilfe der IFC-Standards (ohne Erweiterungen) ausgetauscht werden

können. Die Autoren der zugehörigen Studie nutzen dazu reelle Brückenprojekte, u.a. die Nordenga-Brücke in Oslo. Sie stellen fest, dass die genutzte oberflächenbasierte Geometriebeschreibung zwar gut geeignet ist für Visualisierungsaufgaben, jedoch weitgehend ungeeignet für andere Anwendungsfälle, wie bspw. baustatische Berechnungen. Zudem ist die semantische Beschreibung des Brückenmodells völlig ungenügend für eine weitergehende Verwendbarkeit des Modells. Sie kommen zu dem Schluss, dass eine formale Definition eines offiziellen IFC-Bridge Schemas einschließlich der detaillierten Beschreibung seiner Verwendung für spezifizierte Anwendungsfälle sowie die Umsetzung des Standards in kommerziellen Systemen unabdingbar für die vollständige Umsetzung der BIM-Methodik im Brückenbau ist.

Übergangslösung: Verwendung generischer Repräsentationen

Zwar dürfte sich die Ausarbeitung des offiziellen IFC-Bridge-Standards noch einige Jahre hinziehen, dennoch kann das IFC-Datenmodell bereits in der heutigen Form zum Austausch und zur permanenten Speicherung von Brückenmodellen in einem offenen, herstellerneutralen Format herangezogen werden. Das IFC-Kernmodell stellt zum einen gut nutzbare Geometrierepräsentationen und zum anderen generische Erweiterungsmechanismen zur Abbildung a-priori nicht definierter alphanumerischer Informationen zur Verfügung.

Da das Erhaltungsmanagement im Regelfall die Weiterverarbeitung und Veränderung geometrischer Informationen nicht vorsieht, kann für diesen Anwendungsfall sehr gut auf die explizite Geometriebeschreibung des IFC-Datenmodells in Form einer Boundary Representation (BRep) zurückgegriffen werden. Auf semantischer Seite bietet sich zum Teil die Nutzung bereits definierter Entitäten wie *IfcWall* und *IfcColumn* an, um damit bspw. Widerlagerwände und Stützen zu beschreiben. Darüber hinaus stellt das IFC-Datenmodell mit der Entität *IfcProxy* eine Möglichkeit zur semantischen Definition beliebiger physischer Objekte zur Verfügung. Instanzen von *IfcProxy* können bspw. zur Modellierung des Überbaus oder von Lagern verwendet werden. Um dennoch eine eindeutige Klassifikation der Modellelemente zu gewährleisten, empfiehlt es sich, jedes Bauteil mit einem entsprechenden Klassifikationsschlüssel zu verknüpfen. Hierzu bietet sich für das Erhaltungsmanagement in Deutschland das Klassifizierungsschema der ASB-ING an (siehe Abschnitt 2.2.1).

Für die Angabe von Materialinformationen stellt das IFC-Datenmodell ebenfalls sehr ausgereifte Datenstrukturen zur Verfügung. Auch hier empfiehlt sich die Verwendung in Deutschland standardisierter Klassifizierungssysteme.

Darüber hinaus ist für die Verwendbarkeit des IFC-Brückenmodells für das Erhaltungsmanagement die Verknüpfung der Bauteile mit weitergehenden alphanumerischen Informationen eine wesentliche Voraussetzung (siehe Abschnitt 2.2). Hierfür bietet das IFC-Datenmodell mit den sogenannten Property Sets einen sehr flexiblen Mechanismus, der die Definition beliebiger alphanumerischer Attribute erlaubt, ohne dass diese Teil des international standardisierten Datenschemas sein müssen. Mit diesem Erweiterungsmechanismus wird explizit den divergierenden nationalen und regionalen Anforderungen an BIM-Modelle Rechnung getragen.

Im Folgenden werden für weitere spezifische Anforderungen, die sich aus dem Anwendungsfall Erhaltungsmanagement ergeben, Möglichkeiten zur Darstellung im IFC-Format angegeben:

- Beschreibung von **Oberflächenschutzsystemen**: Dies lässt sich mit Hilfe der Entität *IfcCovering* realisieren, die ursprünglich zur Abbildung von Bekleidungen und Belägen eingeführt wurde.
- Beschreibung der Lage und Aufgabe von **Sensoren**: Bisher sieht das IFC-Datenschema standardmäßig keine Entitäten zur Abbildung im Brücken eingesetzter Sensoren vor. *IfcSensor* bezieht sich auf im Hochbau bekannte Sensoren wie beispielsweise Rauchmelder. Die Nutzung von IFC zur Einbindung von Sensoren, z.B. Spannungs – Dehnungssensoren, direkt im Bauwerksmodell wird in (Dávila Delgado et al. 2015) näher untersucht. Neben den bestehenden Möglichkeiten zur Abbildung von Sensoren und Sensordaten werden zudem neue Vorschläge unterbreitet, um die derzeitigen Einschränkungen von IFC-Bridge zu überwinden. Eine Verknüpfung von SensorML und IFC wird in (Liu und Akinci 2009) untersucht.
- Verknüpfung mit **Photographien**: Um Fotos zum Beispiel von Schäden direkt an eine Bauteiloberfläche zu verknüpfen, existieren im IFC-Datenmodell die Entitäten *IfcImageTexture* und *IfcPixelTexture*. Beide Entitäten stellen eine Textur zur Verfügung, die direkt auf eine Fläche eines geometrischen Objekts angebracht werden kann. Der Unterschied zwischen *IfcImageTexture* und *IfcPixelTexture* ist der Speicherort der Bildinformation. Bei *IfcImageTexture* ist

das Bild über eine URL verlinkt, während bei *IfcPixelTexture* die Informationen in einem Array direkt am Modellelement gespeichert sind.

- Beschreibung von **Schäden**: Zur Beschreibung von Rissbildern oder Schäden bietet es sich an, das IFC-Datenschema um die Entität *IfcDamage* zu erweitern. Diese Entität enthält dann die in Kapitel 2.3 definierten Attribute. Außerdem ist jedes *IfcDamage* Objekt mit einem Objekt *IfcShapeRepresentation* verknüpft. Dort kann jegliche Geometrie egal ob punkt-, linien- oder flächenförmig hinterlegt werden.

2.2 AP-2: SYSTEMATISCHE ERFASSUNG VON ANFORDERUNGEN AN BIM-MODELLE

In diesem Arbeitspaket wurde eine systematische Erfassung der Anforderungen an BIM-Bauwerksmodelle aus Sicht des Erhaltungsmanagements durchgeführt. Insbesondere wurden die Anforderungen an die Geometriemodellierung, Materialparameter, Aufbau und Gliederung des Modells hinsichtlich der im Brückenbau typischerweise verwendeten Bauteile untersucht.

In einem ersten Schritt wurden dazu die Anforderungen, welche bereits in vorhanden Normen und Richtlinien definiert wurden, zusammengetragen. Zur Durchführung von Bauwerksprüfungen existiert bereits eine Reihe von Normen und Richtlinien. Im Einzelnen sind das:

- DIN 1076 – Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung (DIN 1076)
- Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF 2013)
- Anweisung Straßeninformationsbank, Segment Bauwerksdaten (ASB-ING 2013)

In diesen Dokumenten sind bereits Anforderungen hinsichtlich Art und Umfang der Bauwerksakte, sowie der eigentlichen Bauwerks- und Zustandsdaten festgelegt. Sie stellen damit eine wichtige Ausgangsbasis zur Definition von Anforderungen an die digitalen Bauwerksmodelle dar.

Weitere Anforderungen können aus den Ergebnissen der im Rahmen des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“ durchgeführten Projekte 15.0509/2011/GRB, 15.0510/2011/DRB und insbesondere 15.0510/2011/ARB und 15.0546/2011/LRB entnommen werden.

Ziel ist es, dass im digitalen Bauwerksmodell alle notwendigen Informationen enthalten oder mit anderen Quellen verknüpft sind, sodass mit computergestützten Analyse- und Bewertungsverfahren eine aufwandsarme Bauwerksprüfung, Zustandsbewertung und Zustandsprognose der Brücke erfolgen kann. Dazu muss das digitale Bauwerks-

modell die Bereitstellung von Struktur- bzw. Systemmodellen unterstützen. Diese dienen einer Bewertung und Prognose des Zustands der Brücke anhand von Schädigungen (bzw. Messwerten) unter Berücksichtigung des statischen Systems.

Ein wichtiger Aspekt dieses Arbeitspakets war die Definition eines geeigneten Detaillierungsgrades des Brückenmodells, bei dem Aufwand und Nutzen in einem sinnvollen Verhältnis stehen.

2.2.1 Systematische Erfassung der Anforderungen aus bestehenden Normen und Richtlinien

Anforderungen nach DIN 1076

Die DIN 1076 definiert in Anhang A die Inhalte der Bauwerksakte. Im Folgenden wird nun für jede Anforderung nach DIN 1076, die Umsetzung im BIM-gestützten Erhaltungsmanagement diskutiert.

Anforderungen nach DIN 1076	Umsetzung im BIM-gestützten Erhaltungsmanagement
Alle mit Genehmigungsvermerk versehenen Zeichnungen samt Verzeichnis	Im BIM-gestützten Erhaltungsmanagement übernimmt das Modell weitgehend die Aufgaben der Pläne. Nichtsdestotrotz sollten verfügbare Pläne mit dem Modell verlinkt werden. Es sollten folglich sowohl die Pläne als auch alle Gesamt-, Teil- und Fachmodelle in einem offenen Datenformat in der digitalen Bauwerksakte hinterlegt werden. In einem as-built Modell sind für jedes Bauteil die zugehörigen Ausführungspläne mit Hilfe eines Attributs (URL) verlinkt.
Alle mit Prüfvermerk versehenen Standsicherheitsnachweise samt Inhaltsverzeichnis	Bei der BIM-gestützten Planung basieren die statischen Berechnungen auf dem Fachmodell Tragwerksplanung . Aus diesem sind sowohl das statische System als auch die Lastannahmen und Ergebnisse zu entnehmen. Es sollten folglich sowohl die Ergebnisse der statischen Berechnung als Dokument als auch das Fachmodell Tragwerksplanung in einem offenen Datenformat in der digitalen Bauwerksakte hinterlegt werden.

Korrosionsschutzpläne	Stahlbau nicht Teil dieser Studie
Stahllisten einschließlich Mengenberechnungen für Stahlbeton- und Spannbetonbauwerke oder -bauteile	Mengen können einfach durch entsprechende Abfragemechanismen aus einem BIM-Modell ermittelt werden. Sind die Bewehrungslagen ebenfalls modelliert, können daraus Stahllisten abgeleitet werden. Ist dies nicht der Fall, können auch Stahllisten als Attribut (URL) verlinkt werden.
Bei Spannbetonbauwerken mit nachträglichem Verbund Vorspannprotokolle und Auspreßprotokolle	Vorspannprotokolle und Auspreßprotokolle werden mit den Modellelementen Spannglied bzw. Spannkopf verknüpft.
Stücklisten einschließlich Mengen- und Beschichtungsflächenberechnung für stählerne Bauwerke oder Bauteile	Stahlbau ist nicht Teil dieser Studie
Untersuchungsergebnisse, Gutachten (Baugrund, Baustoffe)	Das Fachmodell Baugrund enthält Aussagen über den anstehenden Baugrund. Aufschlüsse, Bodenschichten werden modelliert, Bodenkennwerte als Attribute angegeben. Gutachten zu Baustoffen können als Attribut (URL) verknüpft werden.
Vermessungsergebnisse (Peilergebnisse, baubegleitende Messungen und Nullmessungen nach Fertigstellung usw.)	Vermessungsergebnisse zum anstehenden Gelände gehen direkt in das Fachmodell Baugrund ein. Vermessungsergebnisse zum Bestand dienen zur Modellierung des Teilmodells Bestand . Vermessungen nach Fertigstellung des Bauwerks dienen der Modellierung des as-built Modells . Weitere Dokumente können als Attribut (URL) verknüpft werden.
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, Eignungsprüfungen	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen und Eignungsprüfungen werden mit dem entsprechenden Modellelement als Attribut (URL) verknüpft.
Zustimmungen im Einzelfall	Die Zustimmungen im Einzelfall werden mit dem entsprechenden Modellelement als Attribut (URL) verknüpft.

Abnahmezeugnisse, Gütenachweise	Die Abnahmezeugnisse, Gütenachweise werden mit dem entsprechenden Modellelement als Attribut (URL) verknüpft.
Liste der verwendeten Baustoffe mit Angabe der Lieferanten und Hersteller	Die Liste der verwendeten Baustoffe kann aus einem BIM-Modell über Filtermechanismen ermittelt werden. Um Lieferant und Hersteller der Baustoffe ermitteln zu können, müssen diese Angaben als Attribut an die Materialien gehängt werden.
Bautagebuch	Über ein Attribut (URL) kann auf alle Einträge zu diesem Bauteil im digitalen Bautagebuch zugegriffen werden.
Angaben über Baugeschichte und Bauablauf	Im Rahmen der Baufortschrittskontrolle werden reale IST-Daten zum Baufortschritt in das Modell eingepflegt (4D). Hierzu eignet sich beispielsweise ein Attribut „Herstellung IST“. Diese Informationen können zur Nachvollziehung der Baugeschichte und des Bauablaufs herangezogen werden.
Unterlagen über spätere Änderungen und Umbauten	Änderungen und Umbauten werden modelliert und mit dem bestehenden Modell zusammengeführt.
Bestandsübersichtszeichnungen	Aussagen zum Bestand können dem Teilmodell Bestand entnommen werden.
Alle Bestandsunterlagen, die entsprechend dem Prüf- und Genehmigungsverfahren und der Bauausführung berichtigt sind	Berichtigungen , die sich aus dem Prüf- und Genehmigungsverfahren sowie der Bauausführung ergeben, können im as-built Gesamtmodell aufgenommen werden.
Dokumentationsblatt Großbrücken	Das Dokumentationsblatt Großbrücken kann im Gesamtmodell als Attribut (URL) verknüpft werden.
Zusammenstellung der Kostenabrechnung des Bauwerks	Die Abrechnung erfolgt bei der BIM-gestützten Bauabwicklung auf Basis des Modells (5D). Eine

	Zusammenstellung kann in Gesamt- oder Teilmodellen als Attribut (URL) verknüpft werden.
Wesentliche Verträge, insbesondere Bau-, Gestattungsverträge und Vereinbarungen	Alle Verträge können im Gesamtmodell, in Teilmodellen oder mit den Bauteilen als Attribut (URL) verknüpft werden.
Behördliche Genehmigungen und Urkunden	Alle Behördliche Genehmigungen und Urkunden können im Gesamtmodell, in Teilmodellen oder mit den Bauteilen als Attribut (URL) verknüpft werden.

Aus der voranstehenden Tabelle ist zu erkennen, dass viele Informationen, welche nach DIN 1076 Teil der Bauwerksakte sein müssen, nicht direkt als Attribut einem Modellelement hinterlegt werden, sondern die Daten lediglich verlinkt werden. So können z.B. die Ausführungspläne, Fotos, Mess- und Abnahmeprotokolle auf einem Dokumentenserver über eine Link mit einem oder mehreren zugehörigen Modellelementen verknüpft werden. Dieser so genannte Linked-Data-Ansatz ist für die Umsetzung einer digitalen Bauwerksakte, deren Inhalte in der DIN 1076 definiert sind, sehr sinnvoll. Andererseits kann die übermäßige Anwendung dieses Ansatzes dazu führen, dass eine schlecht durchsuchbare Datenbasis entsteht. Daher ist grundsätzlich eine direkte Integration von Daten in das BIM-Modell der Verlinkung vorzuziehen, sofern dies möglich ist. Weiter gilt es zu berücksichtigen, dass für eine automatisierte Zustandsbewertung notwendige Eingangsparameter unbedingt im BIM-Modell vorgehalten werden müssen, da sie sonst schlecht zugänglich sind. Diese Eingangsparameter werden in Kapitel 2.2.2 analysiert und daraus Anforderungen an die Attributierung einzelner Elemente entwickelt.

Anforderungen nach RI-EBW-Prüf

Nach RI-EBW-Prüf sind für die Beschreibung der Schäden und Mängel mindestens folgende Angaben erforderlich:

- Hauptbauteil (z.B. Querträger, Widerlager) und/oder Konstruktionsteil (z.B. Gründung, Vorspannung, Lager, Geländer) und/oder Bauteilergänzung (z.B. Beton, Bewehrung, Fugen, Beschichtung)
- Schaden: z.B. schadhaft, behindert, gerissen, verstopft oder Riss 0,2 mm breit
- Menge allgemein (z.B. flächendeckend, bereichsweise, vereinzelt)
- Schadensbewertung
- Zuordnung zu einem Schadensbeispiel: Schadensbewertung nach Standsicherheit (S), Verkehrssicherheit (V), Dauerhaftigkeit (D) in der Regel gemäß Schadensbeispiel
- Kennzeichnung bei der Hauptprüfung (H1, H2, H) bezüglich der Notwendigkeit einer Kontrolle bei der Einfachen Prüfung.

Folgende Angaben können die Schadensbeschreibung ergänzen:

- Menge mit Dimension beinhaltet eine grobe mengenmäßige Angabe der Ausbreitung des Schadens, die eine verbesserte Kostenermittlung im BMS ermöglicht. (z.B. xxxm Länge, xxx cm Durchmesser, xxx °C)
- Ortsangabe Feld, Pfeiler, Block, Segment (z.B. gesamter Überbau, 4. Feld, Widerlager vorne)
- Ortsangabe längs (z.B. vorne, xxx m vom Feldanfang, 2. Wechselbereich)
- Ortsangabe quer (z.B. links, xxx m vom linken Bauwerksrand)
- Ortsangabe hoch (z.B. oben, xxx m ab Fundamentoberkante)
- Schadensveränderung (z.B. Instandsetzung schadhaft)
- Bemerkungen (z.B. erforderlich ist: Gutachten)
- Selbst formulierte Textergänzungen
- In digitaler Form abgespeicherte Schadensbilder
- In digitaler Form abgespeicherte Schadensskizzen

Aus diesen genannten Punkten lassen sich nun Anforderungen an ein BIM-Modell ableiten, die sicherstellen, dass die Modelle im Rahmen einer BIM-gestützten Erhaltungsplanung verwendet werden können. Dies wird im Folgenden erläutert:

1. Durch die dreidimensionale Repräsentation und Lokalisierung eines Schadens am Modell brauchen die Angaben zu Ort, Abmessungen und Mengen eines Schadens nicht als Attribut des Schadenselements hinterlegt werden, da sie direkt aus dem Modell gemessen oder abgefragt werden können. Dazu ist allerdings die Interpretation der geometrischen Repräsentation der Modellinhalte durch die lesende Applikation notwendig, welche unter Umständen die Geometrie anders interpretiert als die schreibende Applikation. Daher geht man häufig dazu über, Informationen zu Mengen als zusätzliches Attribut zu speichern. Dies stellt zwar zum einen eine Datenredundanz dar, welche unter Umständen zu Dateninkonsistenzen führen kann, andererseits erhält man dadurch eine höhere Sicherheit, was die Validität der Mengen angeht. Insgesamt ermöglicht die beschriebene Methodik eine Verbesserung der Durchsuchbarkeit der Datenbasis.
2. Es gilt zu definieren, wann Schäden als Symbol, Platzhalter oder als exakte Repräsentation im Modell hinterlegt werden. So ist es je nach verlangtem Detailierungsgrad (siehe Abschnitt 2.2.3) möglich, den Schaden als Pin (LoD 100), als einfaches generisches Objekt wie Rechteck oder Polygon (LoD 200) oder als exaktes geometrisches Abbild (LoD 500) des am Bauwerk erfassten Schadens im Modell zu hinterlegen.
3. Eine Unterscheidung der Schäden hinsichtlich ihrer geometrischen Ausbreitung macht Sinn, da somit unterschiedliche Attributkataloge definiert werden können. Es werden daher Schäden folgendermaßen kategorisiert:
 - Punktförmige Schäden (z.B. Abplatzung)
 - Linienförmige Schäden (z.B. Riss)
 - Flächige Schäden (z.B. Verfärbung)

Anforderungen nach ASB-ING

In der ASB-ING sind Hinweise hinsichtlich der semantischen Untergliederung des Modells zu finden. Ein Ingenieurbauwerk kann demnach aus folgenden Bauteilgruppen bestehen: Überbau, Unterbau, Bauwerk, Vorspannung, Gründungen, Erd- und Felsanker, Lager, Fahrbahnübergänge, Abdichtungen, Beläge, Kappen, Schutzeinrichtungen und Sonstige. Schadensinformationen, Maßnahmenempfehlungen, Zustandsnoten und Konstruktionsdaten werden diesen Bauteilgruppen zugeordnet.

Außerdem ist der Umfang der zu speichernden Bauwerksdaten definiert. Dazu zählen für **Bauwerke** Bauwerksnummer, Interne Bauwerksnummer, Interner Sortierschlüssel, Bauwerksname, Nächst gelegener Ort, Gesamtlänge für Brücken, Gesamtlänge für Tunnel / Trogbauwerke, Gesamtlänge für Lärmschutzbauwerke, Gesamtlänge für Stützbauwerke, Amt, Verwaltung/Gemarkung, Anzahl Teilbauwerke, Bemerkungen.

Für **Teilbauwerke** Teilbauwerksnummer, Interne Teilbauwerksnummer, Teilbauwerksname, Interner Sortierschlüssel, Meisterei, UI/UA, Name des UI/UA-pflichtigen Partners, Bauwerksart, Konstruktion, Stadium, Bauwerksrichtung, Stationierung, Bauwerksakte-Nummer, Baulast Konstruktion, Anderes Bauwerk nach DIN 1076, Informationen zum Baujahr, Denkmalschutz, Unterlagen, Datenerfassung für das Teilbauwerk abgeschlossen, Unterhaltungslast Überbau, Konkretisierung Überbau, Unterhaltungslast Unterbau, Konkretisierung Unterbau, Bemerkungen.

Für **Brücken** Gesamtlänge, Breite, Gesamtbreite, Brückenfläche, Abstand zwischen den Überbauten der Teilbauwerke, Konstruktionshöhe, Konstruktionshöhe min., Konstruktionshöhe max., Anzahl Felder, Anzahl Überbauten, Anzahl Stege, Längsneigung max., Querneigung max., Krümmung, Bauwerkswinkel, Winkelrichtung, Querschnitt Überbau, Querschnitt Haupttragwerk, Bauverfahren Überbau, Konstruktive Maßnahmen für nachträgliche Verstärkung, Koppelfugen, Maximale Überschüttungshöhe, Minimale Überschüttungshöhe, Lichte Höhe, Lichte Weite bei Einfeldbrücken, Bemerkungen zum Baugrund, Bemerkungen.

Für **Brückenfelder / -stützungen** Art der Stützung, Feldnummer, Stützweite, Stützungshöhe, Anzahl der Stützen in Querrichtung, Schifffahrtsöffnung, Bemerkungen.

Für **Statisches System / Tragfähigkeit** Bauteil, Statisches System in Bauwerksachse, Statisches System quer zur Bauwerksachse, Tragfähigkeit, Einbahnverkehr Zweibahnverkehr, Bemessungslast, Maßgebende Tragfähigkeitseinstufung, Sperrung

für Schwertransporte, Statischer Auslastungsgrad, Sonderabtragungsrichtung, Ersatzstützweite, Einstufungsjahr, Verkehrskategorie nach DIN FB 101 bzw. DIN EN 1991-2, mit Nachrechnungsrichtlinie nachgewiesen, Nachweisstufe, Nachweisklasse, Vorläufig eingeschränkte Nutzungsdauer, Kompensationsmaßnahme „Lastbeschränkung“, Kompensationsmaßnahme „Überholverbot“, Kompensationsmaßnahme „Spurführung“, Kompensationsmaßnahme „Geschwindigkeitsbeschränkung“, Kompensationsmaßnahme „Abstandsgebot“, Kompensationsmaßnahme „Monitoring“, Kompensationsmaßnahme „Kürzerer Prüfzyklus“, Kompensationsmaßnahme „Weitere Maßnahmen“, Bemerkungen.

Für **Vorspannung** Bauteil, Richtung, Intern-Extern, Vorspanngrad, Spannverfahren, Spannkraft, Spannstahl Streckgrenze, Spannstahl Bruchgrenze, Spannstahlhersteller, Art der Verpressung, Typenbezeichnung des Spannverfahrens, Deutsche Zulassungsnummer des Spannverfahrens, Europäische Zulassung des Spannverfahrens, Einbaujahr, Einbauort, Bemerkungen.

Für **Gründung** Bauteil, Art, Typenbezeichnung, Einbauort, Einbaujahr, Bemerkungen.

Für **Erd- und Felsanker** Bauteil, Verfahren, Hersteller, Zulassungsnummer, Anzahl, Art, Typenbezeichnung, Einbauort, Einbaujahr, Bemerkungen.

Für **Lager** Art der Stützung, Art, Anzahl, Hersteller, Typenbezeichnung, Einbauort, Einbaujahr, Kritische Bauwerkstemperatur im Winter, Kritische Bauwerkstemperatur im Sommer, Bemerkungen.

Für **Fahrbahnübergänge** Bauteil, Art, mit Lärminderung, Anzahl, Anzahl der Lamellen (bei Lamellenkonstruktionen), Gesamtdehnweg, Hersteller, Typenbezeichnung, Regelgeprüft gemäß TL/TP, Einbauort, Einbaujahr, Konstruktionslänge, Wartungsgang, Kritische Bauwerkstemperatur im Winter, Kritische Bauwerkstemperatur im Sommer, Bemerkungen.

Für **Abdichtungen** Bauteil, Einbauort, Unterlage, Vorbereitung der Unterlage, Behandlung der Unterlage, Dichtungsschicht, Schutzschicht, Dicke (Dichtungsschicht + Schutzschicht), Einbaujahr, Fläche, Hersteller, Ausführende Firma, Bemerkungen.

Für **Kappen** Bauteil, Einbauort, Konstruktion, Verankerung, Größte Blocklänge, Kappenlänge, Breite, Einbaujahr, Bemerkungen.

Für **Schutzeinrichtungen** Bauteil, Art, Einbauort, Einbaujahr, Länge, Höhe, Aufhaltestufe der Schutzeinrichtung, Wirkungsbereichsklasse W, Anprallheftigkeitsklasse, Schutzeinrichtung System, Schutzeinrichtung Hersteller, Bemerkungen.

Für **Ausstattungen** Bauteil, Art, Einbauort, Datum der Prüfung nach besonderen Vorschriften, Bemerkungen.

Für **Gestaltungen** Bauteil, Art, Einbauort, Bemerkungen.

Für **Leitungen** Bauteil, Art, Einbauort, Durchmesser, Betreiber der Leitung, Bündelung, Anzahl, Nutzungsvereinbarung, Bemerkungen.

Für die **Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen** Bauteil, Einbauort, Schaden / Schadensursache, Füllgut (Füllmaterial), Hersteller / Produktbezeichnung, Einbaujahr, Ausführende Firma, Bemerkungen.

Für **Betonersatzsysteme** Bauteil, Art des Betonersatzsystems, Einbauort, Lieferfirma / Produktbezeichnung, Ausführende Firma, Bezeichnung, Einbaujahr, Fläche, Bemerkungen.

Für **Oberflächenschutzsystem für Beton** Bauteil, Art des Oberflächenschutzsystems, Art der zu schützenden Oberfläche, Hersteller / Produktbezeichnung, Verbrauch, Bezeichnung, Einbauort, Ausführende Firma, Einbaujahr, Fläche, Bemerkungen.

Für **Baustoffe** Bauteil, Hauptbaustoff, Festigkeitsklasse des Betons, Expositions-klasse nach DIN EN 206-1, Größtkorn der Betonzuschläge, Konsistenz, Baustoffgüte Baustahl, Baustoffgüte Holz, Verbindungsmittel, Zement, Zementgehalt, Betonzuschlag, Betonzusatz, Oberfläche des Betons, Betonstahlgüte, Fertigteile, Hersteller/Lieferfirma,

Standard Angaben für **Geokunststoffe** Produktbezeichnung, Kurzzeitfestigkeit längs, Kurzzeitfestigkeit quer, Bruchdehnung längs, Bruchdehnung quer, Flächenmasse, Geotextilrobustheitsklasse GRK, Wasserableitvermögen auch: Abflussleistung, Wasserdurchlässigkeit, Maschenweite, Dicke, Schutzwirksamkeit, Durchschlagverhalten, Stempeldurchdrückkraft, Rohstoffe, Bemerkungen.

Die hier aufgelisteten Informationen müssen im Modell abgebildet sein, damit es den Anforderungen des Erhaltungsmanagements nach ASB-ING genügt. In Abschnitt 2.3 wird detailliert dargelegt, wie der sich daraus ergebende Attributkatalog gestaltet ist.

2.2.2 Systematische Erfassung der Anforderungen aus Projekten des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“

Insgesamt wurden von der BAST im Rahmen des Themenschwerpunkts „Intelligente Brücke“ fünf Projekte beauftragt, deren Arbeiten wichtige Hinweise für die Erstellung eines Attributkatalogs liefern. Im Folgenden werden die Projekte kurz vorgestellt und die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst und die Anforderungen abgeleitet.

09.0149/2011/DRB - 3D-Modelle und RFID-Tags

In diesem Projekt wurde eine Untersuchung von RFID-Technologie zur Unterstützung der Bauwerksprüfung durchgeführt. „Der Einsatz von 3D-Modellen führt dazu, dass der enorme Umfang von Daten und Informationen zum einen leicht abrufbar zur Verfügung gestellt wird und zum anderen sehr viel schneller inhaltlich erfasst werden kann“ (BAST 2013c). Das Modell wurde genutzt, um mit Hilfe von 3D-Pins die RFID-Sensoren zu lokalisieren (LoD 100). Das Modell selbst entspricht einem LoD 200 (siehe 2.2.3). Konkrete Anforderungen an ein BIM-Modell konnten nicht ermittelt werden.

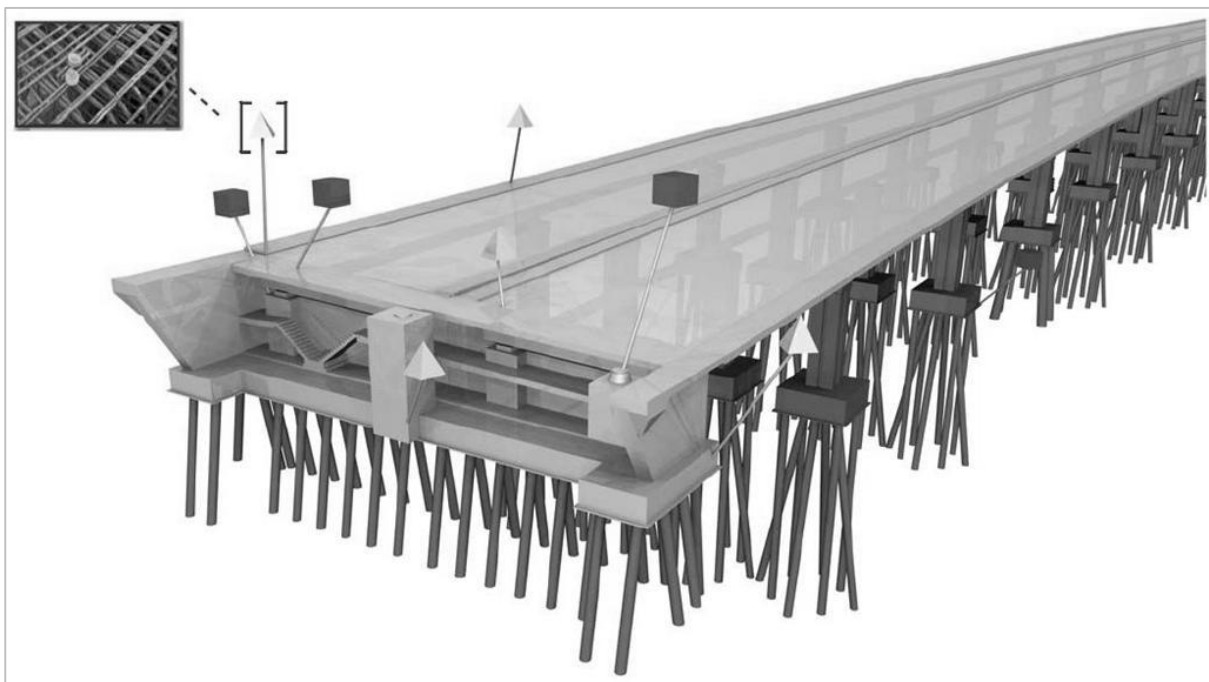


Abbildung 18: 3D-Brückenmodell mit 3D-Pins zur Lokalisierung von RFID-Korrosionssensoren (BAST 2013c)

15.0509/2011/GRB - Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke

In der Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke 15.0509/2011/GRB (BASt 2013a) werden im Kapitel Intelligente Brückenmodellierung (Seite 78) Anforderungen zur intelligenten Modellierung von Brücken im Rahmen eines Systems zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit formuliert. Diese sind:

- Anforderungen an Modellinhalte basieren im Wesentlichen auf der ASB-ING
- Modellierung von Bauteilabhängigkeiten sind wichtig (Bsp. Stütze 2 ↔ Fundament 5). Auf diese Weise können z. B. Setzungsmaße eines Fundamentes sehr einfach auf die Stütze übertragen werden.
- Zeitliche Veränderlichkeit der Daten → 4D BIM, Zeitstempel der Schäden notwendig
- Attributgruppen Eigenschaften, Verhalten, Schäden, Einwirkungen Sonstige Attribute
- Verwendete Objekthierarchie analog zu OKSTRA Bauwerk → Teilbauwerk → Bauteilgruppen → Bauteile → Bauteilabschnitte → Zeitpunkte → Attributgruppen → Attribute
- Modellierung von Schädigungsprozessen, Verknüpfung von Attributen von Schädigungen mit Bauteilen über Verweise
- Verknüpfung von Brückenmodell und FE-Modell (Bsp. Lager Modell mit Lager FEM) notwendig → Lösung Konzept der „physikalisches Modell“ in IFC

15.0510/2011/DRB - Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton

Aus diesem Projekt ergeben sich Anforderungen an Bauteilattribute aus den Schädigungsmodellen (BASt 2013b). Die dort vorgestellten Schädigungsmodelle sind jeweils, neben den über Sensoren erfassten Umweltparametern, von einer Reihe von Materialparametern abhängig. Um in Zukunft solche Schädigungsmodelle auf Basis des BIM-Modells nutzen zu können, müssen die genutzten Materialparameter den Modellelementen als Attribute hinterlegt werden. Ein wichtiger Punkt ist dabei, dass

die Schädigungen und einige Parameter ortsvariabel sind und nicht für das gesamte Bauteil gelten. Dies gilt zum Beispiel für die Betondeckung.

Im Folgenden werden aus den genannten Schädigungsmodellen die unbedingt notwendigen Attribute identifiziert.

Tabelle 1: Anforderungen aus einzelnen Schädigungsmodellen

Karbonatisierung	Betondeckung (es kann auch mit der planmäßigen Betondeckung unter Abminderung gerechnet werden), Karbonatisierungstiefe, w/z Wert des Betons
Chlorideindringung	Betondeckung, gemessene Chlorideindringtiefe
Bewehrungskorrosion	Betongüte, Betondeckung, Bewehrungsstahlradius, Korrosionsaktive Zeit
Spannungsrissskorrosion	Materialparameter des Betons und des Spannstahls
Frost-/Frost-Tausalz-Angriff	Verwendete Betonzusatzstoffe, Luftporengehalt üblicherweise am Frischbeton, Betongüte, Expositionsklasse
Alkali-Kieselsäure-Reaktion	Keine Angabe, Forschungsbedarf
Ermüdung	Materialparameter des Betons, keine weitere Angabe

Zu erkennen ist hier die große Abhängigkeit der Schädigungsmodelle von den Materialparametern des Betons, Bewehrungsstahls sowie des Spannstahls. Weiter gehen geometrische Aspekte wie Querschnittsfläche des Spannglieds, Schwerpunkte, Durchmesser des Bewehrungsstahls, Betonüberdeckung ein, welche bereits durch die dreidimensionale Modellierung der Bauteile abgedeckt sind. Allerdings kann es für den vereinfachten Zugriff durch weitere Datenverarbeitungsmodule sinnvoll sein, geometrische Eigenschaften neben der eigentlichen 3D-Repräsentation auch als Attribut

zu speichern, um so die Eingangsgrößen der Schädigungsmodelle aus dem BIM-Modell zu ermitteln. Ist für Bestandsbrücken die Erfassung der Bewehrungslagen nicht möglich, so bleibt nur noch die Wahl, diese Information als Attribut abzulegen.

Es ist außerdem zu erkennen, dass auf der Baustelle gemessene Ist-Daten wie die reale Lage der Bewehrung oder der Luftporenanteil im Frischbeton in das Modell eingepflegt werden müssen. Die Ablage und Verlinkung der erstellten Messprotokolle würde zu einer schlecht durchsuchbaren Datenbasis führen. Unbedingt notwendig ist die zeitdiskrete Speicherung von Sensordaten wie Temperatur, Feuchte, Chloridgehalt, CO₂-Gehalt sowie die Einwirkungen aus Verkehrsbeanspruchung. Da diese Sensoren je nach Messintervall eine Unmenge an Messwerten generieren, ist eine Speicherung direkt am Modellelement nicht sinnvoll. Es wird auch hier die Verknüpfung des Modellelements mit den Sensordaten über eine eigenes Attribut (URL) empfohlen.

15.0510/2011/ARB - Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse und **15.0546/2011/LRB** - Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells

In diesen Projekten wurde ein Einflussbaum entwickelt, der aus den drei hierarchischen Ebenen Strukturebene, Schadensebene und Parameterebene besteht. Die Strukturebene bildet dabei das Bauwerk in seiner Bauteilstruktur ab. Die unterste Ebene der Strukturebene bilden die Bauteilkomponenten (z.B. Spannglieder) und Baumaterialien (Beton und Stahl). Diesen Strukturelementen werden wiederum Schadenselemente zugewiesen, welche Teil der Schadensebene sind. Dies ermöglicht die exakte Zuordnung von Schäden zu den Bauteilen der Brücke, was in Folge wiederum eine Zustandsbewertung ermöglicht. In der Parameterebene werden jedem Schaden Parameter wie die Voraussetzung oder Ursache eines Schadens zugewiesen.

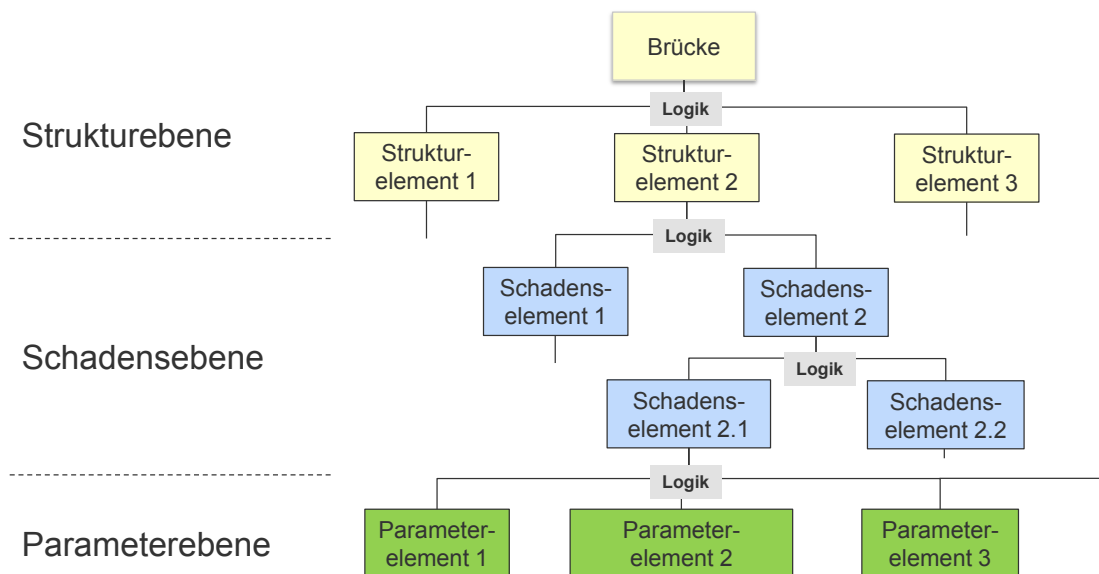


Abbildung 19: Prinzipieller Aufbau eines Einflussbaumes (BAST 2014a)

Die Aufgliederung des Bauwerks in die einzelnen Strukturelemente lehnt sich an die ASB-ING an, deren Bauteilstruktur oben bereits beschrieben wurde.

Daraus ergibt sich für das BIM-Modell die Anforderung, entsprechende hierarchische Wirkmechanismen abbilden zu können. Auf Strukturebene kann auf die in BIM-Modellen üblicherweise verfügbare Aggregationsstrukturen zurückgegriffen werden. Zur Beschreibung der Schädigungen und ihres Einflusses auf den Zustand der Bauteile müssen entsprechende Schädigungsentitäten (*IfcDamage*, siehe Abschnitt 3.1.2) in das Modell aufgenommen und mit Bauteilen verknüpfbar gemacht werden.

2.2.3 Anforderungen an den geometrischen Detaillierungsgrad des Modells

Die Modellierung von digitalen Bauwerksmodellen kann grundsätzlich in verschiedenen Detaillierungsgraden erfolgen, je nach Planungsphase oder Anwendungsbereich. Im Bereich des Building Information Modeling haben sich hierzu die Begriffe Detaillierungsgrad (engl. Level of Detail) bzw. Ausarbeitungs-/Reifegrad (engl. Level of Development) etabliert. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Detaillierungsgrade nicht ausschließlich die geometrische Ausprägung, sondern ebenfalls die Detailtiefe der semantischen Informationen spezifizieren. In der Regel ist die Definition der notwendigen Detaillierungsgrade wichtiger Bestandteil des BIM-Abwicklungsplans (BAP), welcher von Auftraggeber und Auftragnehmer gemeinsam definiert wird.

Im Hinblick auf die Nutzung eines BIM-Modells für die Bestandsverwaltung von Brücken sollten ebenfalls Detaillierungsgrade, welche aus den Anforderungen der Bestandsverwaltung resultieren, definiert werden. Diese kommen bei Übergabe der Modelle vom Auftragnehmer an die Baubehörden zur Anwendung, können automatisiert geprüft werden und stellen somit die Qualität der übergebenen Daten sicher.

Das American Institute of Architects (AIA) hat in Zusammenarbeit mit dem amerikanischen BIMForum die Detaillierungsgrade LoD 100, 200, 300, 400 und 500 für den Hochbau spezifiziert (BIMforum 2015). Diese Definitionen kommen mittlerweile weltweit zur Anwendung und werden voraussichtlich auch von den VDI-Gremien so für Deutschland übernommen. In untenstehender Tabelle sind für die fünf Detaillierungsgrade die entsprechenden Beschreibungen aufgeführt. Dies wird im Weiteren die Definition von Anforderungen hinsichtlich des Detaillierungsgrades erheblich erleichtern.

Tabelle 2: Beschreibung der LoDs 100 - 500

<p>LoD 100 Vorplanung</p>	<p>Das Modellelement wird im Modell mit einem Symbol oder einer anderen generischen Darstellung geometrisch dargestellt (Pins). Modellelemente dieser Kategorie besitzen keine eigene geometrische Repräsentation wie Form, Größe oder präzisen Ort, können aber weitere Informationen an andere Modellelemente anhängen oder zeigen die Existenz einer Komponente an.</p>
<p>LoD 200 Entwurfspannung</p>	<p>Das Modellelement wird im Modell geometrisch als Objekt mit ungefähren Mengen, Größe, Form, als einfacher Volumenkörper und mit der ungefähren Orientierung dargestellt. Eventuell sind diese Elemente bereits als die Bauteile erkennbar, welche sie repräsentieren, können aber auch als Platzhalter fungieren. Einfache semantische Informationen können ebenfalls enthalten sein.</p>
<p>LoD 300 Genehmigungsplanung</p>	<p>Das Modellelement wird im Modell geometrisch als Objekt mit genauen Mengen, Größe, Form, als exakter Volumenkörper und mit der genauen Orientierung dargestellt. Die Anzahl, Größe, Form, Ort und Orientierung der Elemente kann direkt aus dem Modell gemessen werden, ohne auf andere Quellen zurückgreifen zu müssen. Semantische Informationen sind enthalten.</p>

LoD 400 Ausführungs- planung	Das Modellelement ist ausreichend detailliert und genau modelliert, so dass alle für die Herstellung des Bauteils notwendigen Informationen enthalten sind. Die Anzahl, Größe, Form, Ort und Orientierung der Elemente kann direkt aus dem Modell gemessen werden, ohne auf andere Quellen zurückgreifen zu müssen. Semantische Informationen sind enthalten.
LoD 500 „wie gebaut“	Das Modellelement ist eine auf der Baustelle überprüfte oder aufgenommene exakte Repräsentation des realen Bauteils („wie gebaut“). Modelle dieses Detaillierungsgrades werden üblicherweise für die Bauwerksunterhaltung, Umbauten und Instandsetzungen herangezogen.

Da die Definition der LoDs in der Literatur generell an Beispielen des Hochbaus erfolgt, sollen in der folgenden Tabelle die LoDs für den Brückenbau definiert werden. Dazu werden die typischen Bauteile einer Brücke nach ASB-ING in der ersten Spalte aufgetragen. Die weiteren Spalten entsprechen den LoDs 100 – 500. Zu jedem Bauteil sind nun für das entsprechende LoD die Mindestanforderungen an das Modell definiert.

Tabelle 3: Level of Detail Definition für Brücken

	LoD 100	LoD 200	LoD 300	LoD 400	LoD 500
Überbau		Äußere Hülle des Überbaus, Konstruktionshöhe ist definiert	Querneigung der Fahrbahnplatte, Durchbrüche, Umlenksattel, Schotte, Querbalken, Voutung, Kantenbrüche, evtl. Bewehrung	Baubehelfe wie Schalung, Gerüsttürme, Zwischenbauzustände, Koppelfugen, Vorschubschraubel	
Unterbau		Äußere Hülle des Unterbaus	Ausrundungen, Kantenbrüche, Öffnungen, evtl. Bewehrung	Baubehelfe wie Schalung, Gerüst	
Vorspannung		Äußere Hülle des Spannankers, Hüllrohr	Spannanker mit Sicherungs- und Schutzhaube,	Verfüllöffnungen, Entlüftungsöffnungen, Muffen,	

			Lochscheibe, Auflagerplatte, Wendelbewehrung, Korrosionsschutzmasse	Tragbügel Hüllrohr	
Gründung		Äußere Hülle der Fundamentplatte und der Pfähle	Gelände, Bodenaufbau, Bodenkennwerte, Sauberkeitsschicht, evtl. Bewehrung	Bohrschablone, Baugrube, Fugen, Fugendichtung	
Erd- und Felsanker		Äußere Hülle des Ankers	Siehe Vorspannung + Verpresskörper	Siehe Vorspannung	
Lager		Äußere Hülle des Lagers sowie der Pressenplätze	Lagerplatte, Lager,	Verankerung, Schrauben,	
Fahrbahnübergänge		Äußere Hülle des Fahrbahnübergangs	Exakte Repräsentation des Produkts	Verankerungsbewehrung	
Abdichtungen		Fläche	Fläche	Einzelschichten, Grundierung	
Beläge		Äußere Hülle	Genauer Aufbau der Asphalt-schicht	Fahrbahnmarkierung, Beschichtung Fahrrad-/Gehweg, Art	
Kappen		Äußere Hülle	Exakte Repräsentation, Abkantungen, Tropfnase, evtl. Kappenbewehrung	Anschlussbewehrung, Fugen	
Schutzeinrichtungen		Äußere Hülle	Geländer, Sprossen, Planken	Anschlüsse Kappe, Verschraubung, Dübel	
Ausstattung			Äußere Hülle	Anschlüsse, Konsolen, Befestigungen	
Sonstiges		Lichttraumprofile		Baubehelfe wie Zufahrtstraßen,	

				Baustelleneinrichtung wie Kran, Container, Lagerplätze, Verkehrsumleitung	
Schaden	Als Pin dargestellt	Platzhalter (Kreis, Rechteck) auf Oberfläche des betroffenen Bauteils, beschreiben ungefähr Abmessungen und Ort des Schadens	Genau Repräsentation des Schadens z.B. aus Bilderkennung, exakte Lokalisierung	Anhängigkeiten unter den Schäden sind hinterlegt	

Für den breiten Einsatz der BIM-Technologie im Rahmen der Bestandsverwaltung von Brücken unter Anwendung automatisierter Methoden zur Schadenserfassung, Zustandsbewertung und Erhaltungsplanung von Brücken ist ein Modell im Detaillierungsgrad von mindestens LoD 300 nötig. Ein möglichst hoher Detaillierungsgrad ist zu bevorzugen. Idealerweise liegt ein Modell im Detaillierungsgrad LoD 500 vor. Für Neubauten ist ein Detaillierungsgrad von LoD 500 leicht zu erreichen, während für Bestandsbrücken der Aufwand zur Modellierung eines LoD 500 Modells als zu aufwendig eingeschätzt werden muss.

2.3 AP-3: AUSARBEITUNG EINES BAST-ATTRIBUTKATALOGS FÜR DAS ERHALTUNGSMANAGEMENT

Auf Basis der ermittelten Anforderungen wurden BAST-Attributkataloge für das Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken ausgearbeitet. Die Kataloge enthalten alle für das Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen wie Materialparameter, Expositionsclassen etc. Sie bilden die Grundlage für zukünftige Spezifikationen hinsichtlich der Übergabe von BIM-Modellen an die Betreiber. Bei einer Anpassung der zugrundeliegenden Normen und Richtlinien (z.B. ASB-ING 2008 zu ASB-ING 2013) empfehlen die Autoren eine regelmäßige Fortschreibung der BAST-Attributkataloge, z.B. alle 3 Jahre. Die weitere Implementierung in IFC ist durch die Nutzung der *IfcPropertySets* unter maximaler Flexibilität nach wie vor möglich. Grundsätzlich gilt es, drei wichtige Datengruppen zu unterscheiden:

1. Allgemeine Informationen (über die Lebensdauer unveränderlich), darunter fallen die allgemeinen Bauwerksdaten sowie das as-built Bauwerksmodell.
2. Inspektionsspezifische Informationen, darunter fallen alle Messinformationen, Daten, Bilder, Handskizzen, die im Zuge einer Brückeninspektion erfasst und in das Bauwerksmodell eingepflegt werden müssen.
3. Informationen zu Bauteilzuständen, darunter fallen alle Zustandsbewertungen von Bauteilen. Diese werden zeitdiskret über den gesamten Lebenszyklus gespeichert. So können Aussagen über den Schädigungsverlauf oder die Entwicklung der Bauteilzustände getroffen werden.

Weiter definieren wir einen neuen Detaillierungsgrad LoD Betrieb. Im Unterschied zu einem Bauwerksmodell in LoD 500 werden für diesen Detaillierungsgrad weitere Informationen, die im Laufe des Lebenszyklus eines Bauwerks anfallen, gespeichert. Sie entstammen den Datengruppen 2 und 3. Es wurden insgesamt vier verschiedene Kataloge entwickelt, welche im Folgenden vorgestellt werden.

BAST-Attributkataloge Bauwerk, Teilbauwerk, Brücke, Brückenfelder / -stützungen, Statisches System / Tragfähigkeit

In diesen Katalogen sind Attribute zu Informationen definiert, welche nicht genau einem Bauteil zugeordnet werden können oder keiner geometrischen Repräsentation im Modell zugeordnet sind. Diese Informationen entsprechen der Datengruppe Nr.1. Die angelegten Attribute entsprechen im Wesentlichen der ASB-ING. Auch hier gilt,

dass bestimmte Informationen durch Interpretation des Modells ebenso erlangt werden könnten. Sie sind daher als wünschenswert gekennzeichnet. Die zugehörige Aufstellung ist im Anhang A zu finden.

BASt - Attributkatalog Bauteile

Dieser Katalog definiert Attribute für alle typischen Brückenbauteile. Die semantische Bauteilstruktur orientiert sich nah an der bereits bekannten Struktur aus SIB Bauwerke bzw. ASB-ING, um eine enge Verzahnung mit dem bestehenden Bauwerksinformationssystem zu ermöglichen. Die dort unterschiedenen Bauteile sind im Attributkatalog zeilenweise angeordnet.

In den Spalten sind alle wiederkehrenden Attribute wie Name, Herstelldatum, Ausführende Firma vorgegeben. Sie sind nach den Attributgruppen Identifikation, Mengen, Zustandsbewertung, Material, Bewehrung, Temperatur, Herstellung, Produkte, Verlinkte Daten, Sonstiges gruppiert. Einmalige, für nur ein Bauteil spezifische Attribute werden einzeln in der letzten Spalte ergänzt.

Über die Tabelle kann nun durch Eintrag von v (verbindlich), w (wünschenswert), o (optional) die Attributauswahl für jedes Bauteil gesteuert werden. Auf Basis dieser Informationen können daraus, beispielsweise mit Hilfe eines Makros, die Attributlisten für jedes Bauteil generiert werden. Darüber hinaus kann man vollständig automatisiert *IfcPropertySets* (siehe Abschnitt 3.1.3) und die zugehörigen *mvdXML*-Dateien generieren. Denkbar wäre eine zukünftige weitere Aufteilung nach Detaillierungsgraden, abhängig von den verschiedenen Anwendungsfällen innerhalb der Brückenerhaltung, welche in Kapitel 2.1.2 aufgezeigt wurden.

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Identifikation				
Attribute	GUID	Name	Diziplin	Art nach ASB-ING	Beschreibung
Typ	Integer	Text	Enum	Text	Text
Beschreibung	Ein eindeutige Identifikationsnummer				

Bauteile

Überbauten	v	w	w		w
Unterbauten	v	w	w		w
Vorspannung	v	w	w		w
Gründung	v	w	w	v	w
Erd-und Felsanker	v	w	w	v	w
Lager	v	w	w	v	w
Fahrbahnübergänge	v	w	w	v	w
Abdichtungen	v	w	w		w
Kappen	v	w	w		w
Schutzeinrichtungen	v	w	w	v	w

Abbildung 20: Entwicklung des BASSt-Attributkatalog in Excel am Beispiel Bauteile

BASSt – Attributkatalog Schaden

Dieser Katalog definiert alle Attribute für Schäden. Die Wahl der zu definierenden Attribute basiert dabei auf den Vorgaben der RI-EBW-Prüf. Neben allgemeinen Angaben wie eine eindeutige GUID oder einen Namen sind Angaben zu den Abmessungen des Schadens zu machen. Zur weiteren Klassifizierung und Bewertung des Schadens existieren Attribute. Außerdem können externe Daten wie Bilder oder Skizzen über Attribute (URL) verknüpft werden. Bei der Definition der Parameter wird zwischen punktförmigen, linienbasierten, flächigen Schäden unterschieden, um die entsprechend verlangten Attribute besser steuern zu können. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die Attribute der Attributgruppe Mengen. Die Daten können der Datengruppe 2 zugeordnet werden.

BASSt – Attributkatalog Sensor

Dieser Katalog definiert alle Attribute für Sensoren. Über die Tabelle ist eine Zuordnung verschiedener Attribute zu verschiedenen Sensortypen möglich. Weiter können produktspezifische Daten des Sensors hinterlegt werden. Über ein Attribut (URL) werden die Messdaten von einer externen Datenquelle mit dem Modellelement verknüpft. Die Daten können der Datengruppe 2 zugeordnet werden.

2.4 AP-4: METHODEN FÜR DIE ERGÄNZUNG FEHLENDER INFORMATIONEN

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 jede Datengruppe werden Methoden zur Erfassung der benötigten Daten aufgeführt und der jeweilige Aufwand abgeschätzt.

2.4.1 Datengruppe Geometrie

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

Möglichkeiten zur Erfassung der 3D-Geometrie des realen Baukörpers liegen in der manuellen Vermessung des Bauwerks, der Aufnahme mit 3D-Laserscann, 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 Modellen für eine vorgegebene Menge von 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. Abbildung 22 zeigt ein Entscheidungsdiagramm Modellierung.

Manuelles Modellieren

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

Parametrisches Modellieren

Unter parametrischem Modellieren wird das Konstruieren des Bestandsbauwerks unter Einsatz von Parametrik verstanden. 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 (Abbildung 21) deutlich mehr Varianten abgedeckt sind, wodurch sich der Modellierungsaufwand deutlich reduziert. Es ist mit normalem Aufwand zur Erstellung des Modells zu rechnen.

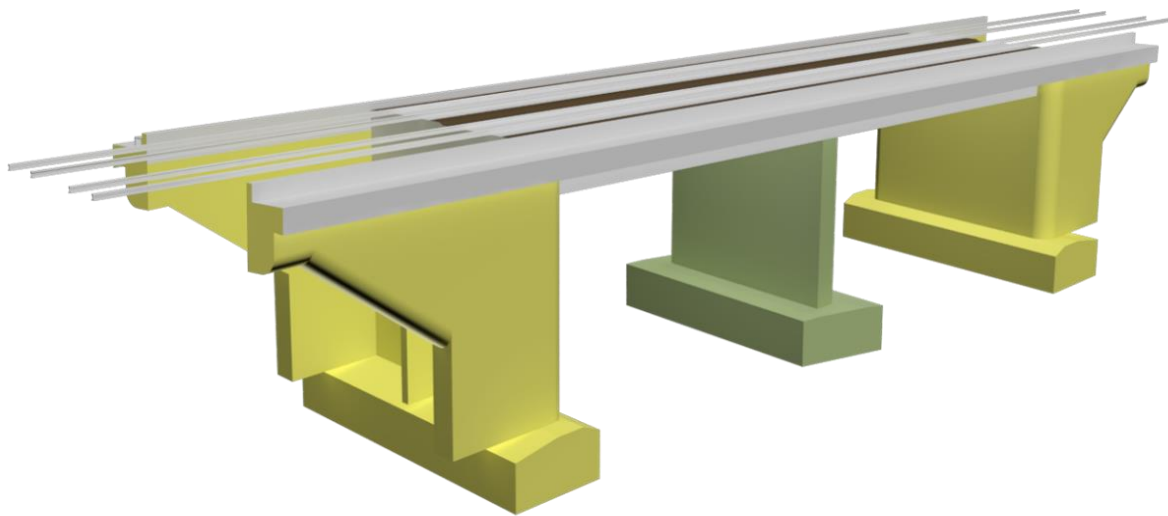


Abbildung 21: Parametrisches Modell einer Brücke

Wissensbasiertes Modellieren

Das wissensbasierte Modellieren basiert auf der parametrischen Modellierung, allerdings wird hierbei auf zuvor formalisiertes Ingenieurwissen wie Richtzeichnungen oder Regelquerschnitte zurückgegriffen. Im Unterschied zur parametrisierten Modellieren

kann die Topologie der Brückenbauteile z.B. Überbautyp, Anzahl der Pfeiler, Pfeilerform uvm. dynamisch geändert werden. Es ist die schnellste Art der Modellierung von Platzhaltermodellen. Es ist mit geringem Aufwand zur Erstellung des Modells zu rechnen.

Automatische Geometriegenerierung

Diese Methodik findet bei der Verarbeitung von Punktwolken Anwendung, um ein reales Abbild des Brückenmodells zu bekommen. Dabei erkennen Algorithmen selbständig Muster in der Punktwolke und generieren die entsprechende Bauteilgeometrie. Im Moment ist diese Möglichkeit noch Bestandteil der Grundlagenforschung und kann in der Praxis noch nicht eingesetzt werden. Siehe dazu auch den Abschnitt 2.4.4 Semantische Anreicherung. Es ist mit geringem Aufwand zur Erstellung des Modells zu rechnen.

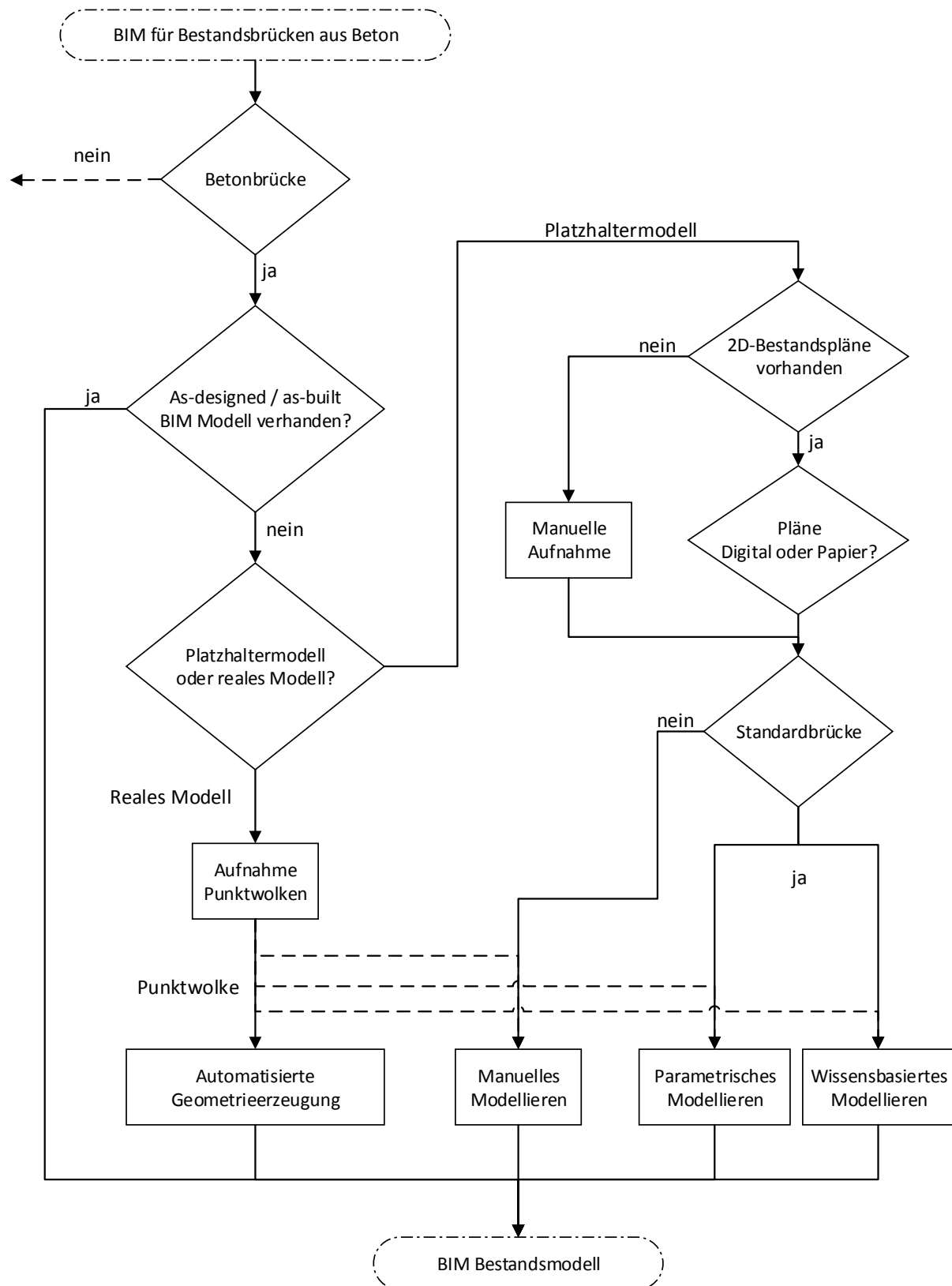


Abbildung 22: Entscheidungsdiagramm Modellierung

Punktwolkenerfassung

Die Technologie der Punktwolkenerfassung hat sich in den letzten Jahren stark verbessert. Dies ermöglicht heutzutage eine wirtschaftliche Erfassung von Punktwolken, selbst für sehr große Bauwerke. Im Gegensatz zu klassischen Vermessungsverfahren ermöglichen moderne Systeme eine berührungslose Vermessung des Bauwerks mit einem sehr hohen Detaillierungsgrad in erschwinglicher Zeit und überschaubaren Kosten. Sie stellt damit eine wichtige Technologie zur Dokumentation des Ist-Zustandes eines Brückenbauwerks dar.

Im Folgenden sollen Aussagen zum Aufwand der Punktwolkenerfassung getroffen werden. Der Aufwand zur Erstellung einer Punktwolke hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Dies ist zum einen abhängig von der Aufnahmeart. Neben der generellen Unterscheidung in Scan und Photogrammetrische Verfahren spielt auch der Aufnahmeort, also die stationäre Aufnahme oder die mobile Aufnahme aus einem Fahrzeug oder einer Drohne eine Rolle. Mit einer mobilen Aufnahme können die Punktwolken zwar schneller, aber auch in einer niedrigeren Punktdichte und mit geringerer Genauigkeit aufgenommen werden.

Der Aufwand zur Erfassung von Punktwolken ist außerdem abhängig von der Brückenfläche, der Anzahl der Pfeiler und Lager, der Zugänglichkeit der Brücke (Wasser, Verkehr, Bahntrasse), der Notwendigkeit von Gerüsten oder anderen Behelfen, der angestrebten Punktdichte sowie der Aufnahme unter fahrendem oder ruhendem Verkehr. Mobile Verfahren sind deutlich besser geeignet bei schlecht zugänglichen, großen oder stark gegliederten Bauwerken.

Neben der eigentlichen Vermessung muss die notwendige Arbeitsvorbereitung (Bahnplanung, Stationierung, Genehmigungen) sowie das Postprocessing, also die Bearbeitung der Rohdaten zu einer vollständigen Punktwolke berücksichtigt werden. Gerade bei großen Datenmengen stellt letzteres einen nicht zu unterschätzenden Anteil am Gesamtaufwand dar.



Abbildung 23: Beispiel einer Punktwolke einer Bestandsbrücke (Pointcap 2015)

2.4.2 Datengruppe Material

Hinsichtlich der Bereitstellung der nicht-geometrischen (alphanumerischen) Informationen entsprechend des in Abschnitt 3.2 angegebenen Attributkatalogs ist entscheidend, ob das Bauwerk bereits mit Programmen wie SIB-Bauwerke verwaltet wird. Ist dies der Fall, ist eine Übernahme in ein BIM-Modell sehr aufwandsarm möglich. Ist dies nicht der Fall, sind sehr umfangreichere manuelle Aufbereitungen notwendig, die aber identisch sind mit dem Aufwand für die Bereitstellung dieser Daten in SIB-Bauwerke.

Dazu gehört je nach Verfügbarkeit die Auswertung von Bauplänen und die manuelle Aufbereitung weiterer nicht-digitaler Dokumente wie Materiallisten, Betongütemessungen, Vorspannprotokolle usw. Die Nutzung von Digitalisierungswerkzeugen wie Scannern und nachfolgender Texterkennung kann diese Arbeit vereinfachen und beschleunigen, trägt aber nicht wesentlich zur Verringerung des Aufwands bei.

Sollten keinerlei Dokumentationen zum Bauwerk verfügbar sein, können Verfahren der zerstörenden und der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) zum Bestimmen der Materialkennwerte zum Einsatz kommen. Da die verfügbaren Verfahren bei der BAST bekannt sind und nur mittelbar mit der Zielstellung „BIM-gestützte Bestandsverwaltung von Brücken“ zusammenhängen, werden sie hier nicht weiter aufgeführt.

2.4.3 Datengruppe Schäden

Generelle Aussagen zum Aufwand der Bereitstellung nicht-digitaler Informationen der Datengruppe Schäden sind schwierig zu treffen. Daher ist zunächst eine Untergliederung nach Schadensart, Erfassungsart und Grad der Automatisierung sinnvoll:

Schadensart

- Sichtbare Schäden (z.B. Risse, Abplatzungen, Verfärbungen)
- Nicht sichtbare Schäden (z.B. Chlorideinwirkung, Spannungsrisskorrosion)

Erfassungsart

- Erfassung direkt am Bauwerk (Bilder, Messungen)
- Übernahme bereits erfasste Schäden aus Bauwerksakte (Schadenskizzen, Bilder)

Grad der Automatisierung

- Manuelle Digitalisierung
- Teilautomatisierte Digitalisierung
- Automatisierte Digitalisierung

Tabelle 4: Erfassung von sichtbaren Schäden

Grad der Automatisierung	Manuell	Automatisch
Direkt am Bauwerk	Manuelle Neuaufnahme der Schäden direkt am Modell (z.B. per Tablet).	Automatisierte Erkennung von Schäden auf Bildern und Verortung im Modell. Automatisierte Auswertung von Messergebnissen z.B. Bewehrungsüberdeckung → Generierung von Bewehrung.
Aus Bauwerksakte	Manuelle Sichtung der Bauwerksakte. Manuelle Modellierung / Verortung der bereits erfasster Schäden auf Basis von Skizzen oder Bildern am Modell.	Automatisierte Bilderkennung von Schadensskizzen und Verortung der interpretierten Schäden im Modell.

Zu Erkennung von Merkmalen auf Bildern werden in allen Disziplinen zunehmend computergestützte Methoden eingesetzt. Dabei werden Systeme verwendet, welche nach einer „Trainingsphase“ anhand von Testbeispielen Merkmale wie Risse oder Abplatzungen zuverlässig auf den aufgenommenen Bildern erkennen können. Solche Systeme sind bereits zur Erfassung von Schäden von Infrastrukturbauwerken wie Straßen, Tunnel oder Kanal bekannt. In (Koch et al. 2014; Koch et al. 2015) wird der aktuelle Stand der Forschung aufgezeigt. Für diesen Anwendungsfall müsste nach dem automatisierten Erkennen ein Modellelement generiert und im BIM-Modell verortet werden. Dafür muss dem System allerdings die Aufnahmeposition der Bilder bekannt sein und das Modell der Brücke bereits existieren.

Als Alternative wäre die automatisierte Interpretation vorhandener Schadensskizzen und Überführung der dort skizzierten Schäden in das BIM-Modell zu nennen. Hier entfällt der Schritt der eigentlichen Schadenserkennung, da die Schäden bereits durch den Bauwerksprüfer klassifiziert und in die Schadensskizze eingezeichnet wurden. Das System muss die verwendete Symbolik interpretieren und die Lage der Schäden auf der Skizze bestimmen, um daraus im Anschluss die Modellelemente generieren zu können. Dieser Prozess ist insgesamt als aufwandsärmer und technologisch weniger anspruchsvoll einzuschätzen als die zuvor vorgestellte Methode. Können solche Systeme nicht eingesetzt werden, muss die Überführung der vorhandenen Informationen manuell erfolgen was die aufwendigste Methodik darstellt.

Tabelle 5: Erfassung von nicht sichtbaren Schäden

Grad der Automatisierung	Manuell	Automatisch
Direkt am Bauwerk	Manuelle Neuaufnahme der Schäden direkt am Modell (z.B. per Tablet).	Automatisierte Auswertung von Messergebnissen z.B. Bewehrungsüberdeckung → Generierung von Bewehrung.
Aus Bauwerksakte	Manuelle Sichtung der Bauwerksakte. Manuelle Modellierung / Verortung der bereits erfasster Schäden auf Basis von Skizzen oder Bildern am Modell.	

Noch schwieriger ist die Überführung von Informationen zu nicht sichtbaren Schäden. Hier kommen Methoden der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung zum Tragen, um den Zustand im Bauteilinneren zu erfassen. Auch hier kann zwischen einer rein manuellen Überführung der Informationen und der Nutzung von Systemen zur Automatisierung unterschieden werden. Denkbar wäre die automatisierte Erzeugung von Modellelementen auf Basis der am Bauwerk erfassten Messdaten. Beispielsweise können nach einer durchgeführten Messung der Betondeckung die einzelnen erfassten Bewehrungsstäbe modelliert werden. Aktuell finden sich allerdings keine Systeme zum praktischen Einsatz auf dem Markt. Weitere Sensoren am Bauwerk, welche Messdaten liefern sind beispielsweise Temperatur- und Feuchtesensoren, Korrosionssensoren, pH-Wert-Sensoren, Spannungs – Dehnungssensoren oder Schwingungssensoren.

Grundsätzlich gilt also, dass der Aufwand bei sichtbaren Schäden durch Anwendung automatisierter Methoden reduziert werden kann, während bei nicht-sichtbaren Schäden der Automatisierungsgrad kaum eine Rolle spielt.

2.4.4 Semantische Anreicherung

Unter Semantische Anreicherung (Semantic Enrichment) versteht man das automatisierte Erkennen von Bauteiltypen aus den erfassten Informationen und deren Überführung in ein BIM-Modell. Grundlage sind dazu die an der Bestandsbrücke aufgenommenen Punktwolken und Schadensbilder. Mit Hilfe von geometrischen Algorithmen zur Punktwolkenverarbeitung wird aus diesen Rohdaten weitgehend automatisiert ein 3D-Modell generiert. Durch Auswerten dieses Modells auf Basis zuvor definierter Regeln werden mit Hilfe des sogenannten Semantic Enrichment den 3D-Körper des Modells entsprechende semantische Informationen zugeordnet, u.a. zum Bauteiltyp und zu den wechselseitigen Beziehungen (Belsky et al. 2015). Ergebnis ist ein geometrisch-semantisches BIM-Modell, das aber verfahrensbedingt auf sichtbare Modellobjekte begrenzt bleibt. Das Verfahren ist in Abbildung 24 schematisch aufgezeigt.

Im 2015 gestarteten Projekt SEEBridge – „Automated Compilation of Semantically Enriched Bridge Models“, das im Rahmen des europäischen Infravation-Programms gefördert wird und an dem neben dem Lehrstuhl CMS der TU München das Technion Israel, die Cambridge University, GeorgiaTech, Trimble und das Georgia Department

of Transportation (GDOT) beteiligt sind, werden neue Verfahren zur weitgehend automatisierten Erzeugung von BIM-Modellen für Bestandsbrücken unter Einsatz von Laserscanning, Photogrammetrie und Methoden der Künstlichen Intelligenz entwickelt. Dabei werden zunächst Verfahren der Photogrammetrie eingesetzt, um ein 3D-Modell der Brücke zu erzeugen, und dieses anschließend mithilfe von Methoden der künstlichen Intelligenz semantisch angereichert. Zusätzlich werden Bilderkennungsverfahren eingesetzt, um Risse und andere Schädigungen zu erkennen und diese Information mit dem 3D-Modell verknüpft. Das Ergebnis dieser Schritte ist ein schadenbehaftetes digitales Bauwerksmodell, das als Grundlage für die Zustandsbewertung der Brücke durch einen Ingenieur dient. Die Verbindung der einzelnen Technologien erzeugt ein mächtiges Werkzeug, das zukünftig die Inspektionstätigkeit drastisch vereinfachen und zu einer transparenten und nachvollziehbaren Zustandsbewertung von Brücken führen wird. Das Projekt läuft über 2 Jahre und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur durch Bereitstellung des Zugriffs auf Test-Bauwerke unterstützt.

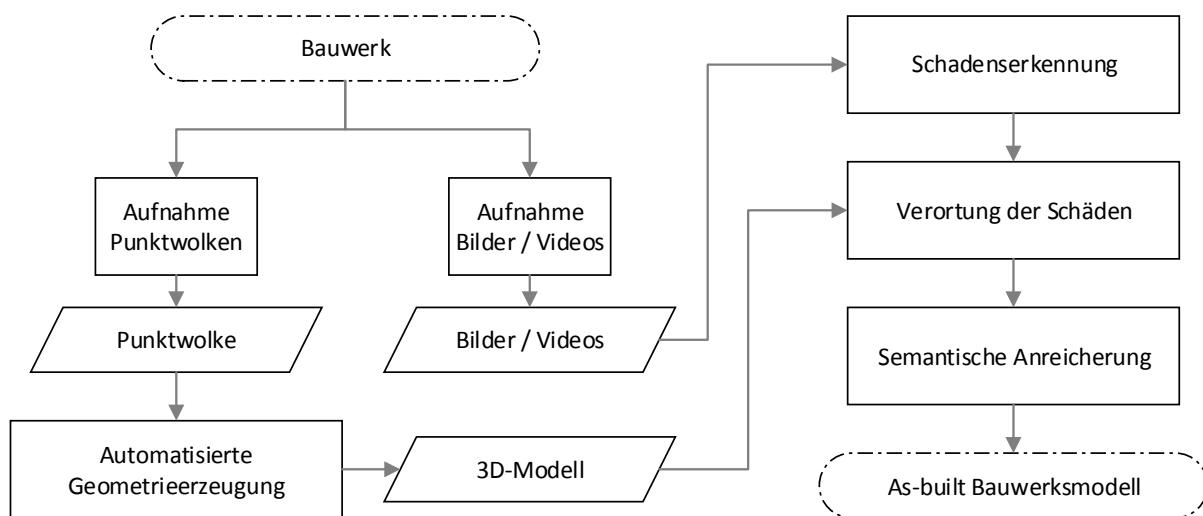


Abbildung 24: Schema Semantische Anreicherung

3 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Fazit dieser Studie ist, dass die Anwendung von Prinzipien des Building Information Modeling (BIM) eine sehr gut geeignete Grundlage für das Erhaltungsmanagement von Brücken bildet. Die zugrundeliegenden digitalen Bauwerksmodelle können sowohl die Datenerfassung der Inspektion unterstützen als auch die darauf aufbauenden Prozesse der Zustandsbewertung (und ggf. -prognose) und der Instandsetzungsplanung und bilden insbesondere eine sehr gute Basis für die dauerhafte Speicherung aller geometrischen und alphanumerischen Informationen zum Brückenbauwerk.

Primär stellt das digitale Bauwerksmodell die 3D-Geometrie aller Bauteile (in einem adäquaten Detaillierungsgrad) zur Verfügung, was die Verortung von Schädigungen, das Anheften von Photographien und die Visualisierung des ermittelten Zustands ermöglicht. Wird das 3D-Modell mit zeitlichen Informationen verknüpft, entsteht ein 4D-Modell, welches hervorragend geeignet ist, um die Schadens- und Zustandsentwicklung des Bauwerks über gewählte Zeiträume wiederzugeben. Ein weiterer wesentlicher Aspekt des BIM-Konzepts mit besonderer Bedeutung für das Erhaltungsmanagement liegt in der semantischen Klassifizierung der Bauteile, der Beschreibbarkeit von Aggregationshierarchien und der Möglichkeit der Verknüpfung mit weiteren beschreibenden Attributen. Bei Ausgestaltung dieser Attribute entsprechend der ASB-ING können alle für das Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen im BIM-Modell des Brückenbauwerks hinterlegt werden. Diese Studie umfasst eine umfassende Auflistung aller benötigten Attribute. Darüber hinaus können weitergehende Dokumente (wie Bauwerkspläne, Prüfprotokolle, etc.) im Sinne eines Linked-Data-Ansatzes mit dem Bauwerksmodell verknüpft werden.

Mit den Industry Foundation Classes (IFC) steht ein ISO-normiertes Datenmodell zur Verfügung, das den herstellerneutralen Austausch hochwertiger geometrisch-semantischer Bauwerksmodelle zwischen den Softwareprodukten verschiedener Hersteller ermöglicht. Ein solches Format ist zum einen notwendig, um die Bereitstellung der Bauwerksdaten für das Erhaltungsmanagement mithilfe verschiedener Software-Systeme zu ermöglichen. Zum anderen bietet es durch seine öffentlich zugängliche Dokumentation eine gute Grundlage für die persistente Speicherung von Bauwerksdaten über sehr lange Zeiträume. Bislang unterstützt das IFC-Format allerdings nur die Beschreibung von Gebäuden. Zwar wurden verschiedene Standardisierungsaktivitäten

zur Erweiterung des IFC-Modells um Entitäten zur Abbildung von Infrastrukturbauwerken in die Wege geleitet, allerdings wird bis zur finalen Verabschiedung noch einige Zeit vergehen. Im Bericht wurde daher als Zwischenlösung auf die Möglichkeit der Nutzung von generischen Datenstrukturen wie die Entität *IfcProxy* und die Möglichkeit der Verknüpfung mit frei definierbaren Attributlisten in Form von sogenannten *IfcPropertySets* verwiesen. Für die Belange des Erhaltungsmanagements können durch die BAST formal definierte *IfcPropertySets* festgelegt werden, die dann die Grundlage für Übermittlung und dauerhafte Speicherung entsprechend erweiterter BIM-Modelle bilden.

Für Bestandsbrücken ergibt sich die besondere Herausforderung, dass Daten vielfach nur begrenzt digital vorliegen. Dies bezieht sich vor allem auf Informationen zur 3D-Geometrie, kann aber darüber hinaus auch alphanumerische Informationen umfassen. In der vorliegenden Studie sind die Verfasser daher auf Techniken eingegangen, die eine möglichst aufwandsarme Erfassung bzw. Bereitstellung derartiger Informationen ermöglichen. Für die Erfassung der 3D-Geometrie bieten sich Verfahren der Photogrammetrie bzw. des Laserscannings an, die jedoch i.d.R. eine händische Überführung der erzeugten Punktwolke in ein Oberflächenmodell erfordern. Für die semantische Klassifizierung der Bauteile – dem sog. semantic enrichment – können entweder manuelle oder semiautomatische Verfahren zum Einsatz kommen. Eine alternative bzw. ergänzende Möglichkeit besteht in der Nutzung parametrisierter 3D-Brückenmodelle für Standard-Brückenbauwerke. Durch Festlegung der freien Parameter können sehr aufwandsarm geometrisch-semantische BIM-Modelle erzeugt werden, die i.d.R. den gestellten Anforderungen des Erhaltungsmanagement in Hinblick auf den Detaillierungsgrad gerecht werden. Hinsichtlich der Bereitstellung der nicht-geometrischen (alphanumerischen) Informationen entsprechend des o.g. Attributkatalogs ist entscheidend, ob das Bauwerk bereits mit Programmen wie SIB-Bauwerke verwaltet wird. Ist dies der Fall, ist eine Übernahme in ein BIM-Modell sehr aufwandsarm möglich. Ist dies nicht der Fall, sind sehr umfangreichere manuelle Aufbereitungen notwendig, die aber identisch sind mit dem Aufwand für die Bereitstellung dieser Daten in SIB-Bauwerke.

Insgesamt empfiehlt sich ein behutsamer schrittweiser Übergang von bisher im Einsatz befindlichen Systemen der Bauwerksverwaltung zu BIM-gestützten Systemen.

Auch eine Ergänzung existierender Systeme um BIM-Komponenten ist denkbar. Die Kompatibilität alter und neuer Systeme sollte sichergestellt sein.

Zum Schluss ist außerdem anzumerken, dass im Rahmen dieser Studie lediglich Fragestellungen technischer Natur geklärt wurden. Rechtliche, organisatorische oder verwaltungstechnische Themen hinsichtlich der Einführung von BIM für den Betrieb von Brücken waren nicht Gegenstand dieser Studie. Die im Rahmen dieser Studie gewonnen Erkenntnisse sind nicht ausschließlich auf Brückenbauwerke aus Beton beschränkt. Die Konzepte lassen sich ebenso auf andere Teile der Infrastruktur (bspw. Straßen, Tunnel) anwenden.

LITERATURVERZEICHNIS

- DIN 1076, November 1999: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung.
- RI-EBW-PRÜF 2013: Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076.
- ASB-ING 2013: Anweisung Straßeninformationsbank - Segment Bauwerksdaten.
- VDI Richtlinie 2552: Blatt 2 Begriffe - Zum Zeitpunkt der Verfassung noch nicht erschienen.
- Amann, J.; Borrmann, A. (2015a): Creating a 3D-BIM-compliant road design based on IFC alignment originating from an OKSTRA-accordant 2D road design using the TUM Open Infra Platform and the OKSTRA class library. Technische Universität München.
- Amann, J.; Borrmann, A. (2015b): Open BIM for Infrastructure - mit OKSTRA und IFC Alignment zur internationalen Standardisierung des Datenaustauschs. In: Tagungsband zum 6. OKSTRA-Symposium. Köln, Deutschland.
- Amann, J.; Singer, D.; Borrmann, A. (2015): Extension of the upcoming IFC alignment standard with cross sections for road design. In: Proc. of the ICCBEI 2015. Tokyo, Japan.
- Amann, Julian; Schöttl, Fabian; Singer, Dominic; Kern, Michael; Widner, Alexander; Geisler, Patrik et al. (2016): TUM Open Infra Platform 2016. Version 1.0.0.1476. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation. Online verfügbar unter <https://www.cms.bgu.tum.de/oip>, zuletzt geprüft am 08.02.2016.
- BASSt (2013a): Intelligente Bauwerke - Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke - FE 15.0509/2011/GRB. Schlussbericht.
- BASSt (2013b): Intelligente Bauwerke - Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton - FE 15.0510/2011/DRB. Schlussbericht.
- BASSt (2013c): Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID Tags - FE 09.0149/2011/DRB. Schlussbericht.
- BASSt (2014a): Intelligente Bauwerke - Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse - FE 15.0538/2011/ARB. Schlussbericht.
- BASSt (2014b): Intelligente Bauwerke - Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells - FE 15.0546/2011/LRB. Schlussbericht.
- Belsky, Michael; Sacks, Rafael; Brilakis, Ioannis (2015): Semantic Enrichment for Building Information Modeling. In: *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, S. n/a. DOI: 10.1111/mice.12128.

-
- BIMforum (2015): Level of Development (LOD) Specification. Online verfügbar unter <http://bimforum.org/lod/>, zuletzt geprüft am 16.01.2016.
- BMVI (2015a): Endbericht - Reformkommission Bau von Großprojekten. Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient.
- BMVI (2015b): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 16.01.2015.
- Borrmann, A.; König, M.; Koch, C.; Beetz, J. (2015): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen Und Industrielle Anwendungen: Vieweg + Teubner Verlag.
- buildingSmart (2015): IFC Alignment Candidate Standard. Online verfügbar unter <http://www.buildingsmart-tech.org/news/ifc-alignment-candidate-standard>, zuletzt geprüft am 13.05.2015.
- Curry, Edward; O'Donnell, James; Corry, Edward; Hasan, Souleiman; Keane, Marcus; O'Riain, Seán (2013): Linking building data in the cloud. Integrating cross-domain building data using linked data. In: *Advanced Engineering Informatics* 27 (2), S. 206–219. DOI: 10.1016/j.aei.2012.10.003.
- Dávila Delgado, J. M.; Brilakis, I.; Middleton C. (2015): Open data model standards for structural performance monitoring of infrastructure assets. In: Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015. Eindhoven, The Netherlands, October 27th-29th 2015.
- Deutsches Institut für Bautechnik (2015): BIM - Einstieg kompakt.
- Eastman, Charles M. (1999): Building product models. Computer environments supporting design and construction. Boca Raton, Fla.: CRC press.
- Eastman, Charles M.; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, Kathleen (2011): BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- G. Arthaud, E. Lebegue (2007): IFC-Bridge V2 Data Model. Edition fonctionnalité R7. CSTB.
- Günthner, Willibald A.; Borrmann, André (2011): Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Heidelberg, New York: Springer (VDI-Buch).
- Hammad, Amin; Zhang, Cheng; Hu, Yongxin; Mozaffari, Elaheh (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.

- Ji, Y.; Beetz, J.; Nisbet, N.; Bonsma, P.; Katz, C.; Borrmann, A. (2011a): Integration of Parametric Geometry into IFC-Bridge.
- Ji, Y.; Borrmann, A.; Obergriesser, M. (2011b): Towards the Exchange of Parametric 3D Bridge Models Using a Neutral Data Format. In: *Proc. of the ASCE International 2011*.
- Ji, Y.; Obergrießer, M.; Borrmann, A. (2010): Prototypische Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendung in parametrischen CAD-Systemen. In: *Forum Bauinformatik 2010*.
- Ji, Yang; Borrmann, André; Beetz, Jakob; Obergrießer, Mathias (2012): Exchange of parametric bridge models using a neutral data format. In: *Journal of Computing in Civil Engineering* 27 (6), S. 593–606.
- Kluth, M.; Borrmann, A.; Rank, E.; Mayer, T.; Schiessl, P. (2008): 3D building model-based life-cycle management of reinforced concrete bridges. In: *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2008*, S. 291.
- Koch, C.; Paal, S.; Rashidi, A.; Zhu, Z.; König, M.; Brilakis, I. (2014): Achievements and Challenges in Machine Vision-Based Inspection of Large Concrete Structures. In: *Advances in Structural Engineering* 17 (3), S. 303–318. DOI: 10.1260/1369-4332.17.3.303.
- Koch, Christian; Georgieva, Kristina; Kasireddy, Varun; Akinci, Burcu; Fieguth, Paul (2015): A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure. In: *Advanced Engineering Informatics* 29 (2), S. 196–210. DOI: 10.1016/j.aei.2015.01.008.
- Kuloyants, V. (2014): Entwicklung eines IFC-basierenden Datenaustauschstandards für den Unterbau von Brückenbauwerken. Technische Universität München. Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation.
- Lebègue, E. (2013): IFC-BRIDGE & IFC for Roads Eric Lebègue BuildingSmart Infrastructure Room IFC-Bridge & IFC-Roads.
- Liebich, T.; Adachi, Y.; Forester, J.; Hyvarinen, J.; Karstila, K.; Reed, K. et al. (2007): Industry Foundation Classes IFC2x Edition 3 Technical Corrigendum 1. Online verfügbar unter <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/>, zuletzt geprüft am 23.04.2015.
- Liu, Xuesong; Akinci, Burcu (2009): Requirements and Evaluation of Standards for Integration of Sensor Data with Building Information Models. In: Carlos H. Caldas und William J. O'Brien (Hg.): *International Workshop on Computing in Civil Engineering 2009*. Austin, Texas, United States, June 24-27, 2009, S. 95–104.
- Lubowiecka, Izabela; Armesto, Julia; Arias, Pedro; Lorenzo, Henrique (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.

- Lukas, Katharina (2011): Mapping Digital Photographs onto 3D Geometric Models. Online verfügbar unter <http://www.cie.bgu.tum.de/upload/lehre/softwarelab/sl2011/projects/topics/MappingPhotosOn3DModels.pdf>.
- Phares, Brent M.; Washer, Glenn A.; Rolander, Dennis D.; Graybeal, Benjamin A.; Moore, Mark (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).
- Pointcap (2015): Brückendokumentation. Online verfügbar unter <http://www.pointcab-software.com/support/downloads/>, zuletzt geprüft am 16.01.2015.
- 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.
- Schießl, P.; Gehlen, C.; Zintel, M.; Rank, E.; Borrmann, A.; Lukas, K. et al. (2011): "Nachhaltig Bauen mit Beton" Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung. DAFStb/BMBF.
- Singer, D.; Amann, J. (2014): Erweiterung von IFC Alignment um Straßenquerschnitte. In: *Proc. of the 26th Forum Bauinformatik*.
- Tang, Pingbo; Akinci, Burcu; Garrett, James H. (2007): Laser Scanning for Bridge Inspection and Management. In: *report (iabse symp.)* 93 (18), S. 17–24. DOI: 10.2749/222137807796120283.
- Tang, Pingbo; Huber, Daniel; Akinci, Burcu (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.
- Tang, Pingbo; Huber, Daniel; Akinci, Burcu; Lipman, Robert; Lytle, Alan (2010): Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. In: *Automation in Construction* 19 (7), S. 829–843. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.007.
- WPM - Ingenieure (2015): Übersichtsblatt SIB Bauwerke. Online verfügbar unter http://www.wpm-ingenieure.de/images/produkte/sib_bauwerke/uebersichtsblatt.jpg, zuletzt geprüft am 08.02.2015.
- Yabuki, Nobuyoshi; Kotani, Jun; Shitani, Tomoaki (2004): A Steel Bridge Design System Architecture using VR-CAD and Web Service-based Multi-Agents. In: Proceedings of the Xth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Beucke, K. et al.(eds.), Weimar, Germany, CD-ROM, 8pp.
- Yabuki, Nobuyoshi; Lebegue, Eric; Gual, Jean; Shitani, Tomoaki; Zhantao, Li (2006): International collaboration for developing the bridge product model IFC-Bridge. In: Proc. of the 11th Int. Conf on Computing in Civil and Building Engineering.
- Yabuki, Nobuyoshi; Li, Zhantao (2006): Development of New IFC-BRIDGE Data Model and a Concrete Bridge Design System Using Multi-agents. In: David Hutchison, Takeo Kanade, Josef Kittler,

Jon M. Kleinberg, Friedemann Mattern, John C. Mitchell et al. (Hg.): Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2006, Bd. 4224. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), S. 1259–1266.

Anhang A

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauwerk

Attribute	Typ	v - verbindlich w - wünschenswert o - optional	Beschreibung
Bauwerksnummer	Int	v	
Interne Bauwerksnummer	Int	v	
Interner Sortierschlüssel	Int	v	
Bauwerksname	Text	v	
Nächst gelegener Ort	Text	v	
Gesamtlänge für Brücken	Float	v	
Amt	Text	v	
Verwaltung / Gemarkung	Text	v	
Anzahl Teilbauwerke	Int	v	
Bemerkungen	Text	o	

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Teilbauwerk

Attribute	Typ	v - verbindlich w - wünschenswert o - optional	Beschreibung
Teilbauwerksnummer	Int	v	
Interne Teilbauwerksnummer	Int	v	
Interner Sortierschlüssel	Int	v	
Teilbauwerksname	Text	v	
Interner Sortierschlüssel	Text	v	
Meisterei	Float	v	
UI/UA	Text	v	
Name des UI/UA-pflichtigen Partners	Text	v	
Bauwerksart	Int	v	
Konstruktion	Text	v	
Stadium	Text	v	

Bauwerksrichtung	Text	v	
Stationierung	Float	v	
Bauwerksakte-Nummer	Text	v	
Baulast Konstruktion	Text	v	
Anderes Bauwerk nach DIN 1076	Text	v	
Informationen zum Baujahr	Text	v	
Denkmalschutz	Text	v	
Unterlagen-URL	URL	v	
Datenerfassung für das Teilbauwerk abgeschlossen	Text	v	
Unterhaltungslast Überbau	Text	o	
Konkretisierung Überbau	Text	o	
Unterhaltungslast Unterbau	Text	o	
Konkretisierung Unterbau	Text	o	
Bemerkungen	Text	o	

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Brücke			
Attribute	Typ	v - verbindlich w - wünschenswert o - optional	Beschreibung
Gesamtlänge für Brücken	Float	v	
Breite	Float	v	
Gesamtbreite	Float	v	
Brückenfläche	Float	v	
Abstand zwischen den Überbauten der Teilbauwerke	FLoat	v	
Konstruktionshöhe	Float	v	
Konstruktionshöhe min.	Float	v	
Konstruktionshöhe max.	Float	v	
Anzahl Felder	Int	v	
Anzahl Überbauten	Int	v	
Anzahl Stege	Int	v	
Längsneigung max.	Float	v	
Querneigung max.	Float	v	
Krümmung	Float	v	

Bauwerkswinkel	Float	v	
Winkelrichtung	Text	v	
Querschnitt Überbau	Teil des Fachmodells Tragwerksplanung		
Querschnitt Haupttragwerk	Teil des Fachmodells Tragwerksplanung		
Bauverfahren Überbau	Text	v	
Konstruktive Maßnahmen für nachträgliche Verstärkung	Text	v	
Koppelfugen	Text	v	
Maximale Überschüttungshöhe	Float	v	
Minimale Überschüttungshöhe	Float	v	
Lichte Höhe	Float	v	
Lichte Weite bei Einfeldbrücken	Float	v	
Bemerkungen zum Baugrund	Text	v	
Bemerkungen	Text	o	

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Brückenfelder / -stützungen

Attribute	Typ	v - verbindlich w - wünschenswert o - optional	Beschreibung
Art der Stützung	Text	v	
Feldnummer	Float	v	
Stützweite	Float	v	
Stützungshöhe	Float	v	
Anzahl der Stützen in Querrichtung	Int	v	
Schiffahrtsöffnung	Text	o	
Bemerkungen	Text	o	

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Statisches System / Tragfähigkeit

Attribute	Typ	v - verbindlich w - wünschenswert o - optional	Beschreibung
Statisches System in Bauwerksachse			Teil des Fachmodells Tragwerksplanung
Statisches System quer zur Bauwerksachse			Teil des Fachmodells Tragwerksplanung
Tragfähigkeit	Float	v	
Einbahnverkehr Zweibahnverkehr	Text	v	
Bemessungslast	Float	v	
Maßgebende Tragfähigkeitseinstufung	Text	v	
Sperrung für Schwertransporte	Text	v	
Statischer Auslastungsgrad	Float	v	
Sonderabtragungsrichtung	Text	v	
Ersatzstützweite	Float	v	
Einstufungsjahr	Int	v	
Verkehrskategorie nach DIN FB 101	Text	o	
mit Nachrechnungsrichtlinie nachgewiesen	Text	o	
Nachweisstufe	Text	o	
Nachweisklasse	Text	o	
Vorläufig eingeschränkte Nutzungsdauer	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Lastbeschränkung“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Überhol-verbot“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Spurführung“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Geschwindigkeitsbeschränkung“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Abstandsgebot“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Monitoring“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Kürzerer Prüfzyklus“	Text	o	
Kompensationsmaßnahme „Weitere Maßnahmen“	Text	o	
Bemerkungen	Text	o	

BASt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Identifikation					
Attribute	GUID	Name	Diziplin	Art nach ASB-ING	Beschreibung	
Typ	Integer	Text	Enum	Text	Text	
Beschreibung						

Überbauten	v	w	w		w	
Unterbauten	v	w	w		w	
Vorspannung	v	w	w		w	
Gründung	v	w	w	v	w	
Erd-und Felsanker	v	w	w	v	w	
Lager	v	w	w	v	w	
Fahrbahnübergänge	v	w	w	v	w	
Abdichtungen	v	w	w		w	
Kappen	v	w	w		w	
Schutzeinrichtungen	v	w	w	v	w	
Ausstattungen	v	w	w	v	w	
Gestaltungen	v	w	w	v	w	
Leitungen	v	w	w	v	w	
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen	v	w	w		w	
Betonerstanzsysteme	v	w	w		w	
Oberflächenschutzsysteme	v	w	w	v	w	

BASst-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Mengen						
	Volumen	Fläche	Länge	Breite	Höhe	Durchmesser	Gewicht
Attribute							
Typ	Float	Float	Float	Float	Float	Float	Float
Beschreibung							
Überbauten	o	o	o	o	o	o	o
Unterbauten	o	o	o	o	o	o	o
Vorspannung	o	o	o	o	o	o	o
Gründung	o	o	o	o	o	o	o
Erd-und Felsanker							
Lager							
Fahrbahnübergänge			v				
Abdichtungen		v					
Kappen			v	v			
Schutzeinrichtungen			v		v		
Ausstattungen						v	
Gestaltungen	o	o	o	o	o	o	o
Leitungen						v	
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen		w					
Betonerstanzsysteme		v					
Oberflächenschutzsysteme		v					

BASt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Zustandsbewertung		Material				
Attribute	Zustandsnote	Notwendigkeit einer Kontrolle bei der Einfachen Prüfung	Hauptbaustoff	Festigkeitsklasse des Betons	Expositionsklasse nach DIN EN 206-1	Größtkorn der Betonzuschläge	Konsistenz
Typ	Float	Bool	Text	Text	Text	Text	Text
Beschreibung							

Überbauten	v	o	v	v	v	v	v
Unterbauten	v	o	v	v	v	v	v
Vorspannung	v	o					
Gründung	v	o	v	v	v	v	v
Erd-und Felsanker	v	o					
Lager	v	o					
Fahrbahnübergänge	v	o					
Abdichtungen	v	o					
Kappen	v	o					
Schutzeinrichtungen	v	o					
Ausstattungen	v	o					
Gestaltungen	v	o					
Leitungen	v	o					
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen	v	o					
Betonersatzsysteme	v	o					
Oberflächenschutzsysteme	v	o					

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Material						
Attribute	w / z Wert	Betonzuschlag	Betonzusatz	Oberfläche	Luftporengehalt des Frischbetons	Zement	Zementgehalt
Typ	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text
Beschreibung							
Überbauten	v	o	o	o	o	o	o
Unterbauten	v	o	o	o	o	o	o
Vorspannung							
Gründung	v	o	o	o	o	o	o
Erd-und Felsanker							
Lager							
Fahrbahnübergänge							
Abdichtungen							
Kappen							
Schutzeinrichtungen							
Ausstattungen							
Gestaltungen							
Leitungen							
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen							
Betonersatzsysteme							
Oberflächenschutzsysteme							

BASt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Bewehrung		Temperatur		Herstellung		
Attribute	Betondeckung planm.	Betonstahlgüte	Kritische Bauwerkstemperatu r im Winter	Kritische Bauwerkstemperatu r im Sommer	Herstelldatum	Herstellverfahren / Bauverfahren	Ausführende Firma
Typ	Float	Text	Float	Float	Datum	Text	Text
Beschreibung							
Überbauten	v	v			v	v	v
Unterbauten	v	v			v	v	v
Vorspannung					v	v	v
Gründung	v	v			v		v
Erd-und Felsanker					v	v	v
Lager			v	v	v		v
Fahrbahnübergänge			v	v	v		v
Abdichtungen					v		v
Kappen					v		v
Schutzeinrichtungen					v		v
Ausstattungen					v		v
Gestaltungen					v		v
Leitungen					v	v	v
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen					v		v
Betonersatzsysteme					v	v	v
Oberflächenschutzsysteme					v		v

BASt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Produkte		
Attribute	Produkt-Typenbezeichnung	Produkthersteller	Produktzulassung-URL
Typ	Text	Text	URL
Beschreibung			

Überbauten			
Unterbauten			
Vorspannung			
Gründung	v	o	o
Erd-und Felsanker	v	o	o
Lager	v	v	w
Fahrbahnübergänge	v	v	w
Abdichtungen	w	v	w
Kappen			
Schutzeinrichtungen			
Ausstattungen			
Gestaltungen			
Leitungen			
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen	v	v	w
Betonersatzsysteme	v	v	w
Oberflächenschutzsysteme	v	v	w

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Verlinkte Daten					Sontiges
	Plan-URL	Statik-URL	Skizzen-URL	Bilder-URL	Protokoll-URL	Bemerkungen
Typ	URL	URL	URL	URL	URL	Text
Beschreibung						
Überbauten	o	o	o	o	o	v
Unterbauten	o	o	o	o	o	v
Vorspannung	o	o	o	o	o	v
Gründung	o	o	o	o	o	v
Erd-und Felsanker	o	o	o	o	o	v
Lager	o	o	o	o	o	v
Fahrbahnübergänge	o	o	o	o	o	v
Abdichtungen	o	o	o	o	o	v
Kappen	o	o	o	o	o	v
Schutzeinrichtungen	o	o	o	o	o	v
Ausstattungen	o	o	o	o	o	v
Gestaltungen	o	o	o	o	o	v
Leitungen	o	o	o	o	o	v
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen	o	o	o	o	o	v
Betonerstätzsysteme	o	o	o	o	o	v
Oberflächenschutzsysteme	o	o	o	o	o	v

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Bauteile

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Weitere Attribute
Attribute	
Typ	
Beschreibung	
Überbauten	
Unterbauten	
Vorspannung	{Richtung, Intern-Extern, Vorspanngrad, Spannverfahren, Spannkraft, Spannstahl, Streckgrenze, Spannstahl Bruchgrenze, Spannstahlherstellung, Art der Verpressung, Typenbezeichnung des Spannverfahrens, Deutsche Zulassungsnummer des Spannverfahrens, Europäische Zulassung des Spannverfahrens}
Gründung	
Erd-und Felsanker	{Zulassungsnummer}
Lager	{Art der Stützung}
Fahrbahnübergänge	{mit Lärmminderung, Anzahl der Lamellen (bei Lamellenkonstruktionen) , Gesamtdehnmweg, Regelgeprüft gemäß TL/TP, Wartungsgang}
Abdichtungen	{Unterlage, Vorbereitung der Unterlage, Behandlung der Unterlage, Dichtungsschicht, Schutzschicht, Dicke (Dichtungsschicht + Schutzschicht)}
Kappen	{Konstruktion, Verankerung, Größte Blocklänge}
Schutzeinrichtungen	{Aufhaltestufe der Schutzeinrichtung, Wirkungsbereichsklasse W, Anprallheftigkeitsklasse, Schutzeinrichtung System, Schutzeinrichtung Hersteller}
Ausstattungen	{Datum der Prüfung nach besonderen Vorschriften}
Gestaltungen	
Leitungen	{Betreiber der Leitung, Bündelung, Nutzungsvereinbarung}
Verfüllungen von Rissen und Hohlräumen in Betonteilen	{Schaden / Schadensursache, Füllgut (Füllmaterial)}
Betonersatzsysteme	{Art des Betonersatzsystems}
Oberflächenschutzsysteme	{Art des Oberflächenschutzsystems, Art der zu schützenden Oberfläche, Verbrauch}

BAST-Attributkatalog LoD Betrieb Schäden

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Identifikation			
Attribute	GUID	Name	Diziplin	Beschreibung
Typ	Integer	Text	Enum	Text
Beschreibung				

Schaden punktförmig	v	w	w	w
Schaden linienförmig	v	w	w	w
Schaden flächig	v	w	w	w

BAST-Attributkatalog LoD Betrieb Schäden

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Mengen					
Attribute	Volumen	Fläche	Länge	Breite	Höhe	Durchmesser
Typ	Float	Float	Float	Float	Float	Float
Beschreibung						

Schaden punktförmig		o	o	o	o	o
Schaden linienförmig			v	o		
Schaden flächig		v	o	o	o	

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Schäden

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Schaden					
Attribute	Schadensart	Schadensveränderung	Schadensbeschreibung	Schadensbewertung	Zurordnung zu einem Schadensbeispiel	Notwendigkeit einer Kontrolle bei der Einfachen Prüfung
Typ	ENUM				Enum	Bool
Beschreibung						

Schaden punktförmig	v	o		v	v	v
Schaden linienförmig	v	o		v	v	v
Schaden flächig	v	o		v	v	v

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Schäden

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Verlinkte-Daten		Sontiges	
Attribute	Skizzen-URL	Bilder-URL	Bemerkungen	Selbst formulierte Textergänzungen
Typ	URL	URL	Text	Text
Beschreibung				

Schaden punktförmig	o	o	o	o
Schaden linienförmig	o	o	o	o
Schaden flächig	o	o	o	o

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Sensor

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Identifikation			
Attribute	GUID	Name	Diziplin	Beschreibung
Typ	Integer	Text	Enum	Text
Beschreibung				

Temperatursensor	v	w	w	w
Korrosionssensor	v	w	w	w
Dehnungssensor	v	w	w	w
Feuchtesensor	v	w	w	w
pH-Wert-Sensor	v	w	w	w
Dehnmessstreifen	v	w	w	w
Schwingungssensoren	v	w	w	w

BASSt-Attributkatalog LoD Betrieb Sensor

v - verbindlich | w - wünschenswert | o - optional

Attributgruppe	Produkte			Verlinkte-Daten		Sontiges
Attribute	Produkt-Typenbezeichnung	Produkthersteller	Produktzulassung-URL	Daten-URL	Bilder-URL	Bemerkungen
Typ	Text	Text	URL	URL	URL	Text
Beschreibung						

Temperatursensor	v	v	w	v	o	o
Korrosionssensor	v	v	w	v	o	o
Dehnungssensor	v	v	w	v	o	o
Feuchtesensor	v	v	w	v	o	o
pH-Wert-Sensor	v	v	w	v	o	o
Dehnmessstreifen	v	v	w	v	o	o
Schwingungssensoren	v	v	w	v	o	o