



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

LEONHARD OBERMEYER CENTER

LEHRSTUHL FÜR COMPUTERGESTÜTZTE MODELLIERUNG UND SIMULATION

Machbarkeitsstudie
BIM für Bestandsbrücken

Feasibility study
Building Information Modeling (BIM)
for existing bridges

FE 89.0309

Dominic Singer
André Borrmann

Kurzbericht/Summary (deutsch/englisch)

Beauftragt durch die
Bundesanstalt für Straßenwesen

1 AUFGABENSTELLUNG

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. Im Mittelpunkt steht dabei ein virtuelles 3D-Bauwerksmodell, 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.

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.

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 ggf. 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.

2 UNTERSUCHUNGSMETHODIK

In **Arbeitspaket 1** 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.

In **Arbeitspaket 2** wurde eine systematische Erfassung der Anforderungen an BIM Bauwerksmodelle durchgeführt. Insbesondere werden 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. 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. 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.

Nach Ermittlung der Anforderungen wurden in **Arbeitspaket 3** entsprechende BAST-Attributkataloge für das Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken ausgearbeitet. Der Katalog enthält alle für das Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen wie Materialparameter, Expositionsclassen etc. Er bildet die Grundlage für zukünftige Spezifikationen hinsichtlich der Übergabe von BIM-Modellen an die Betreiber. Für die Einführung des BIM-gestützten Erhaltungsmanagement bei Bestandsbrücken ergibt sich die große Herausforderung, dass Daten vielfach nur begrenzt digital vorliegen. Hierbei sind folgende Datengruppen zu unterscheiden: Geometrie, Material, Schäden. Für jede Datengruppe werden in **Arbeitspaket 4** Methoden zur Erfassung der benötigten Daten aufgeführt und der jeweilige Aufwand abgeschätzt.

3 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Primär stellt das digitale Bauwerksmodell die 3D-Geometrie aller Bauteile (in einem adäquaten Detailgrad) 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 `PropertySets` verwiesen. Für die Belange des Erhaltungsmanagements können durch die `BASt` formal definierte `PropertySets` 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.

Nach Ermittlung der Anforderungen wurden entsprechende BAST-Attributkataloge für das Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken ausgearbeitet. Der Katalog enthält alle für das Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen wie Materialparameter, Expositionsclassen etc. Er bildet die Grundlage für zukünftige Spezifikationen hinsichtlich der Übergabe von BIM-Modellen an die Betreiber. Weiter wurde ein neuer Detaillierungsgrad LoD Betrieb eingeführt. Im Unterschied zu einem Bauwerksmodell in LoD 500 werden für diesen Detaillierungsgrad weitere Informationen, die im Laufe des Lebenszyklus eines Bauwerks anfallen, gespeichert.

4 FOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

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 Bauwerk.

Insgesamt empfiehlt sich eine schrittweise Transition von bisher im Einsatz befindlichen Systemen der Bauwerksverwaltung zu BIM-gestützten Systemen. Auch eine Ergänzung existierender Systeme um BIM-Komponenten ist denkbar.

1TASK

The building sector is currently undergoing a profound technological change. While structures are traditionally designed using 2D drawings, Building Information Modeling (BIM) aims for a fully digitized planning process. Thereby, a virtual 3D building model that includes not only geometric and topological but also semantic information is used. Once this building information model is created, it can be used for many downstream tasks in the planning and operational phases. Thus, its use leads to increased cost and schedule reliability and to a considerable increase of efficiency and quality in all lifecycle phases of a building. Particularly noteworthy is the creation of building models within a collaborative planning process on the basis of a synchronized data base. All project participants and specialist planners work on their respective sub-models, which are regularly merged into an overall model and are compared. In this way, planning errors can be avoided and costs are saved.

In particular, building operators benefit enormously, due to the well-structured, searchable and analyzable data base provided by the building information models. However, a prerequisite for this is that these building information models allow a clean breakdown in a meaningful component structure and the definition and assessment of relevant properties and element attributes.

As part of this research project, the limits for the use of Building Information Modeling for the purposes of bridge maintenance planning had to be clarified. In particular, the expected effort should be determined. Therefore, a comprehensive literature review was conducted and already existing German and international approaches were documented.

How to use BIM for supplying structural models to support the "Intelligent Bridge" was another point to be examined. Therefore, requirements on geometric and semantic detailing of the building information models have been defined. Thus, requirements had to be identified concerning the modeling of geometry, material parameters, structure, reinforcement layers and the mapping of typical bridge components. It had to be determined, which information should be provided in addition to the existing digital information about bridges in conjunction with existing non-digital information from earlier planning phases.

Finally, useful methods to obtain missing information of existing bridges were investigated. In particular, the limits of the different methods were identified and the

effort was estimated. As part of this report, investigation methods for the integration of particular data groups are identified. The respective degree of possible data completion is estimated.

2 METHODS

In work package 1 it was examined, to what extent BIM is suitable for bridge management of concrete bridges. In this context, an extensive literature review of existing national and international approaches was conducted for documentation purposes. In addition, it was investigated, to what extent the currently available designs of the international data exchange standard IFC-Bridge can be used as a basis for bridge management systems. Also, issues were pointed out which extensions are required to add further information.

In work package 2 a methodical collection of requirements on BIM models was performed. In particular, the demands on the geometric modeling, the material parameters, and the semantic structure of the model in terms of typically used components in bridge construction were examined. As a first step, requirements that have been defined in present standards and guidelines were collected. In these documents requirements regarding the nature and extent of the building acts as well as necessary building information and state data are already set. Therefore, they are an important starting point for the definition of requirements on the building information models. Other requirements can be transferred from the results of projects of the theme "Intelligent Bridge" like 15.0509 / 2011 / GRB, 15.0510 / 2011 / DRB and especially 15.0510 / 2011 / ARB and 15.0546 / 2011 / LRB.

After determining the requirements the corresponding BAST attribute catalogs for bridge management and maintenance have been elaborated in work package 3. The catalog contains all the necessary information for bridge maintenance management such as material parameters, exposure classes, etc. They form the basis for future specifications regarding the transfer of BIM models from construction to operation. Concerning the BIM-based maintenance management for existing bridges, there is the great challenge that a lot of data is not digitally available. Here, the following data groups can be distinguished: geometry, material and damage. Methods for collecting the necessary data for each data group are listed in work package 4. Their respective effort is estimated.

3 RESULTS

Primarily, the building information model provides the 3D geometry of all components (in an adequate level of detail), enables the localization of damages, the attachment of photographs, and the visualization of the determined state. If the 3D model is aggregated with temporal information, the model is well suited to reproduce the damage and constitution development of the bridge structure over certain periods. Another essential aspect of the BIM concept with special significance for bridge management is the semantic classification of the components, the representability of aggregation hierarchies and the possibility of linking them to other descriptive attributes. If these attributes are defined in accordance with the ASB-ING, any information required for maintenance management can be stored in the BIM model as well. This study includes a comprehensive list of all required attributes. In addition, further documents (such as building plans, test reports, etc.) are linked in terms of a Linked-Data approach to the building model.

The Industry Foundation Classes (IFC) is an ISO-standardized data model that allows the vendor-neutral exchange of high-level geometric-semantic building models between software products from different manufacturers. Such a format is necessary to enable the provision of structural data for maintenance management using various software systems. By its publicly accessible documentation, the format provides a good foundation for the persistent storage of structural data over very long periods. So far, however, the IFC format supports only the description of buildings.

Although various standardization activities to extend the IFC model with entities that also map infrastructure buildings were initiated, it will still take some time until they will be finally adapted. In this report an interim solution was shown, namely the use of generic data structures, such as the entity `IfcProxy` and the possibility of linking with freely definable attribute lists in the form of so-called property sets. For the purposes of bridge management formally specified property sets can be put into effect by the Federal Highway Research Institute, which then form the basis for transmission and permanent storage of enhanced BIM models.

For existing bridges the challenge is that lots of data is not digitally available. This refers mainly to information on 3D geometry, but may also include alphanumeric information. In the present study, the authors therefore focus on techniques that enable acquisition or provision of such information with low expenditure. For the

acquisition of the 3D geometry methods of photogrammetry and laser scanning are reasonable, but normally require manual processing of the generated point cloud to a surface model. For the semantic classification of the components - the so-called semantic enrichment - either manual or semi-automated processes can be used. An alternative or complementary possibility is the use of parametric 3D bridge models for standardized bridges. By determining the free parameters, geometric-semantic BIM models can be generated with very little effort, which usually meet the stated requirements of the bridge maintenance in terms of the level of detail. With regard to the delivering of non-geometric (alphanumeric) information corresponding to the above-mentioned attribute catalogue it is crucial, whether the building is already managed with programs such as SIB Bauwerke. If this is the case, a transfer to a BIM model is possible with very little effort. If this is not the case, very extensive manual preparations are necessary, but are identical to the cost of providing such information in SIB Bauwerke. After determining the requirements, corresponding BAST attribute catalogs for the maintenance management of bridge structures were elaborated. The catalog contains all the necessary information for maintenance management such as material parameters, exposure classes etc. It forms the basis for future specifications regarding the transfer of BIM models from construction to operation. Next, a new level of detail "LOD Betrieb" was introduced. Unlike a building model in LoD 500 for this level of detail, further information generated during the lifecycle of a building are saved.

4 CONSEQUENCES FOR PRACTICAL SITUATIONS

The conclusion of this study is that the application of principles of Building Information Modeling (BIM) provides a very suitable basis for the maintenance management of bridges. The underlying building information models can both support the data capture while inspection as well as processes upon, like the state assessment (and the future state prognosis) or the maintenance planning. In particular, BIM models form a very good basis for permanent storage of all geometric and alphanumeric information of bridges. Overall, a stepwise transition from the current bridge management systems to BIM-based bridge management systems is recommended. Also an addition of existing bridge management systems by BIM components is conceivable.