

Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendungen in parametrischen CAD-Systemen*

Yang Ji¹, Mathias Obergriesser², André Borrmann¹

¹Lehrstuhl für Computation in Engineering, Technische Universität München
{y.ji | borrmann}@bv.tum.de ²Fachbereich Bauinformatik / CAD, Hochschule Regensburg
mathias.obergriesser@bau.fh-regensburg.de

Kurzfassung:

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Untersuchung des noch in der Entwicklungsphase befindlichen IFC-Bridge-Standards durch prototypische Entwicklung verschiedener Anwendungsprogramme in parametrischen CAD-Systemen. Das Produktmodell IFC-Bridge basiert auf dem internationalen Standard *Industry Foundation Classes* (IFC), das heute am weitesten verbreitete Format zum Austausch intelligenter Gebäudemodelle des Hochbaus. Die Untersuchung besteht aus drei Schritten. Zuerst werden vorhandene CAD-Programme hinsichtlich der 3D-Modellierungsfunktionalität miteinander verglichen und zwei CAD-Systeme als Grundlage für ein Brückenentwurfssystem ausgewählt. Im zweiten Schritt werden zwei Viewer-Anwendungen als Add-on in den beiden CAD-Systemen implementiert, um die Austauschbarkeit von IFC-Bridge-basierten Brückenmodellen zu überprüfen. Im letzten Schritt wird ein Bridge Design Wizard entwickelt, der es erlauben wird, Brückenmodelle parametrisch zu erzeugen und im IFC-Bridge-Format zu speichern. Das Untersuchungsergebnis soll einen Beitrag zum Standardisierungsprozess des IFC-Bridge-Formats leisten.

1 Einleitung und Motivation

Im Hochbaubereich entspricht das 3D-gestützte Planen unter Einsatz kommerzieller CAD-Programme dem Stand der Technik. Das entstehende semantische 3D-Bauwerksmodell kann zur Visualisierung, aber auch zum Durchführen verschiedener Analysen und Simulationen eingesetzt werden. Die hierzu notwendigen Daten können materialspezifische Bauteileigenschaften, Details zu Bauausführungsprozessen oder Informationen aus dem Bereich der Facility Management repräsentieren. Je erfolgreicher sich diese Technik in der Branche etabliert, desto mehr Bedarf besteht, die generierten Daten des 3D-Bauwerksmodells zwischen verschiedenen Anwendungen auszutauschen.

Der internationale Standard *Industry Foundation Classes* (IFC), ein Datenformat für den Austausch von Gebäudemodellen, hat sich in den letzten Jahren stark in der Baubranche etabliert (Eastmann et al. 2008) und wird von der Mehrzahl der kommerziellen CAD-Anbieter unterstützt.

Im Gegensatz zum Hochbau werden Ingenieurbauwerke wie Brücken und Trassen immer noch traditionell in 2D-Schnitten und unabhängig voneinander geplant. Der

* Das Forschungsvorhaben wird finanziert durch die Bayerische Forschungsförderung im Rahmen des Forschungsverbundes „Virtuelle Baustelle“.

geometrische Zusammenhang zwischen dem Brückenüberbau und der Trassierungsachse wird nicht in einem gemeinsamen Datenmodell berücksichtigt, so dass eine kleine Änderung der Trassenachse eine aufwendige manuelle Anpassung des Brückenüberbaus erfordert.

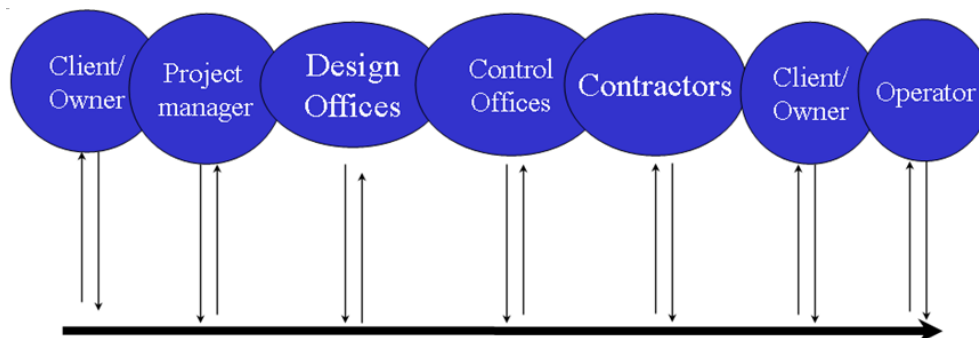


Abbildung 1: Standardisierter Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendern im gesamten Lebenszyklus eines Brückenprojekts

Um mit dieser Problematik beim Brückenentwurf besser umgehen zu können, wurde 2003 eine Erweiterung des IFC-Standards um brückenspezifische Elemente von den japanischen Forschern Yakubi et al. unter dem Namen *YLPC-Bridge* umgesetzt. Der Fokus lag damals ausschließlich auf der Modellierung von Spannbetonbrücken und Hohlkörperplatten. Im weiteren Verlauf traten französische Forscher des CSTB der Initiative bei. Im Jahr 2006 wurde der erste internationale Entwurf für die parametrische 3D-Brückenmodellierung veröffentlicht und als „IFC-Bridge“ benannt. Seitdem wurde IFC-Bridge im Rahmen von Forschungsprojekten weiterentwickelt (Yabuki et al. 2006; Arthaud and Lebegue, 2007). Die Vision des IFC-Bridge-Konzepts besteht darin, ein vollständiges Erfassen und Austauschen von geometrischen und semantischen Information zwischen verschiedenen Anwendungen während des gesamten Lebenszyklus eines Brückenbauprojekts (Abb. 1) zu ermöglichen.

Wegen fehlender Referenzmodelle und mangelnder Unterstützungen von kommerziellen CAD-Softwareanbietern hat sich das Format IFC-Bridge bislang leider noch nicht durchgesetzt und findet noch keine Anwendung in der Praxis.

2 Stand der Technik

In diesem Abschnitt wird der Aufbau des IFC-Bridge-Schemas sowie die Untersuchung parametrischer 3D-CAD-Systeme für den Brückenentwurf detailliert beschrieben.

2.1 Aufbau des IFC-Bridge-Schemas

Das IFC-Bridge-Schema orientiert sich am IFC-Standard und ist hierarchisch und objektorientiert aufgebaut. Die Abbildung 2(a) zeigt einen Auszug aus dem gesamten IFC-Bridge-Schema. In der hierarchischen Struktur steht das *IfcBridge Element* als

Wurzelement in der ersten Stufe. Projektrelevante Information wie Brückenbauart und Projektname werden hier gespeichert. Das Wurzelement wird in mehrere Unterstufen aufgeteilt, welches weitere strukturelle, bauteilspezifische oder bautechnische Beschreibungen des Brückenbauvorhabens enthält.

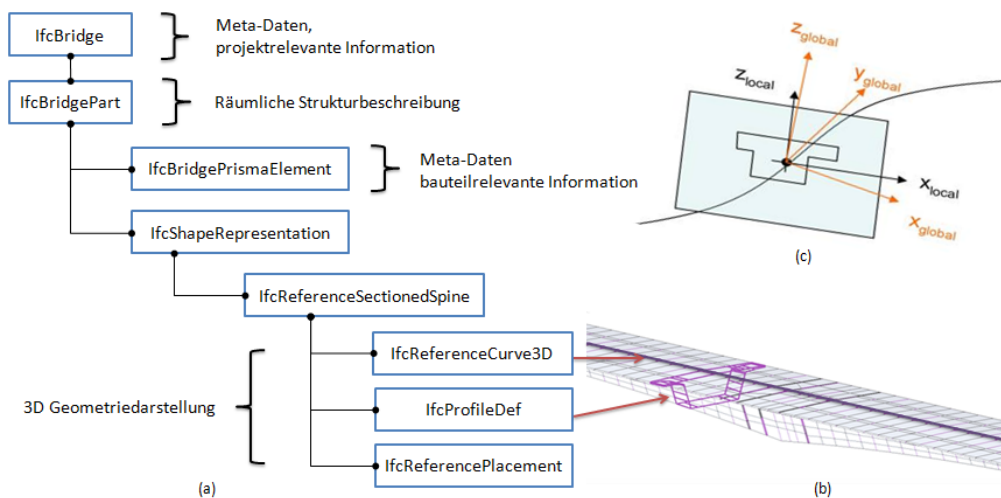


Abbildung 2: (a) Prinzipieller Aufbau des IFC-Bridge-Schemas; (b) Beispielmodell eines Brückenüberbaus; (c) Position der Querschnitte entlang der Referenzkurve

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf der Rekonstruktion des 3D-Brückenmodells anhand einer vorliegenden IFC-Bridge-Datei. IFC-Bridge beschreibt dies im Element *IfcReferenceSectionedSpine* anhand einer 3D-Referenzkurve (*IfcReferenceCurve3D*) und mehreren Querschnitten (*IfcProfileDef*). Diese Querschnitte bekommen über *IfcReferencePlacement* eine Position auf der Achse zugewiesen (Abb. 2b). Die Referenzkurve entspricht der Trassierungsachse im 3D-Raum und erlaubt somit eine parametrische Verknüpfung zwischen dem Brückenüberbau und der Trasse. Diese Anbindung gilt als eine der wesentlichen Eigenschaften des IFC-Bridge-Formats.

Die Komplexität der Geometrie des Brückenoberbaus resultiert daraus, dass die Referenzkurve in zwei Raumrichtungen gekrümmt sein kann: Im Lageplan, also in der x-y-Ebene, wird sie durch Kreisbögen und Geraden beschrieben, die durch Übergangsbögen, sogenannte Klothoide, miteinander verbunden sind. Im Höhenplan, also dem Längsschnitt entlang der Trassierungsachse, ist die Achse aus Geradenstücken zusammengesetzt, wobei deren Schnittpunkte durch parabolische bzw. kubische Kreisbögen ausgerundet werden (Wanne oder Kuppe). Zusätzlich ist die Fahrbahn auch in Abhängigkeit vom Radius des Kreisbogens im Lageplan in Querrichtung geneigt, was die geometrische Komplexität des Brückenüberbaus zusätzlich erhöht (Abb. 2c).

Ein weiteres Problem dieser Art der parametrischen Modellierung ergibt sich daraus, dass parallel versetzte Kurven, beispielsweise der Fahrbahnrand, eine andere Länge besitzen als die Mittelachse. Da sich alle Kurven auf die gleiche Referenzkurve beziehen, ergeben sich bei allen Kurven (außer der Referenzlinie) Unterschiede zwischen wahrer Länge und Referenzlänge (Katz, 2008; Lukas 2008).

Das Problem lässt sich lösen, indem man zwei weitere Referenzkurven, welche aus dem jeweiligen linken bzw. rechten Randpunkten der Fahrbahnquerschnitte konstruiert werden, zur Mittelachse hinzufügt. Mit Hilfe der drei Referenzkurven ist die Position der Brückenquerschnitte räumlich eindeutig definiert, so dass eine exakte Trassen-Brückenmodellierung erfolgen kann. Leider ist dieser Lösungsansatz nicht im aktuellen IFC-Bridge-Entwurf implementiert.

2.2 Parametrische CAD Systeme

Die 3D-Modellierung von Brückenbauwerken stellt hohe Anforderungen an die Funktionalitäten eines CAD-Systems (Shah und Mäntylä, 1995). Bei der Lage der Brücke in einer Kurve in Kombination mit Kuppe bzw. Wanne kann die 3D-Krümmung des Überbaues und der Widerlage nur mit auf Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) basierenden Freiformflächen modelliert werden. Außerdem muss das CAD-System parametrische Modellierungskonzepte unterstützen und im Besonderen eine assoziative Verknüpfung des Brückenmodelles mit der Trasse ermöglichen.

Anhand einer Untersuchung verfügbarer CAD-Systeme aus dem Bereich des Bauwesens und Maschinenwesens auf Unterstützung der oben genannten erforderlichen Funktionalitäten wurde festgestellt, dass das für die Maschinenbaubranche entwickelte Programm *Siemens NX* und das für den Hochbau entwickelte *Autodesk Revit Structure* für den parametrischen Brückenentwurf am besten geeignet sind.

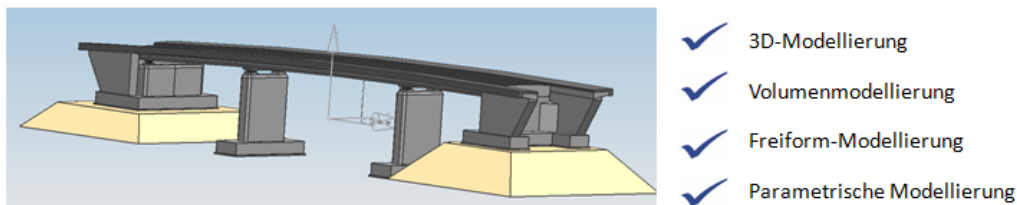


Abbildung 3: Parametrisches Brückenmodell

Die Modellierung von beliebig geformten Körpern kann mit Hilfe dieser 3D-Modellierungssysteme einfach und schnell umgesetzt werden. Hierbei wird das Prinzip verfolgt, die Grundriss- bzw. Schnittgeometrie eines Körpers in einer 2D-Skizze abzulegen und diese anschließend entlang eines Pfades zu extrudieren. Der Extrusionspfad kann aus den verschiedensten 2D/3D-Geometrieelementen bestehen und beliebig im Raum orientiert sein. Der Einsatz mehrere Extrusionsvarianten ermöglicht dem Benutzer, die komplizierte und teilweise doppelt gekrümmte Brückenbauwerksgeometrie zu realisieren. Sämtliche Bauteile liegen assoziativ und parametrisiert vor, so dass eine Bauteiländerung auf einfache Weise durchgeführt werden kann. Die Parametrisierung der Bauteile erfolgt entweder in Form einer 2D/3D-Geometrievermessung oder als Körperattribute. Dabei ist anzumerken, dass die automatisiert durchgeführten Modelländerungen in jedem Fall vom verantwortlichen Konstruktionsingenieur geprüft werden sollten.

Die dargestellte Vorgehensweise der allgemeinen 3D-Modellierung stimmt mit der 3D-Geometriedarstellung des IFC-Bridge-Schemas überein. Das erleichtert die Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendung auf Basis dieser 3D-CAD-Systeme.

Als wesentliche Einschränkungen des Systems Siemens NX gelten die fehlende Generierbarkeit von DIN-gerechten Bauzeichnungen und die mangelnden Unterstützung von Bauspezifika wie Höhenvermaßung, Modellierung von Bewehrung etc.

3 IFC-Bridge-basiertes Anwendungskonzept

In diesem Abschnitt wird das IFC-Bridge-basiertes Anwendungskonzept im Rahmen des Forschungsverbunds ForBAU (Borrmann et al. 2009) vorgestellt.

3.1 Grundlage parametrisches Brückenentwurfs

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, hängt der Brückenentwurf stark vom Verlauf der Trasse ab. Zusätzlich spielt das Geländemodell sowie das Baugrundmodell für die parametrische Konstruktion des Brückenunterbaus eine wichtige Rolle (Obergrießer et al. 2009).

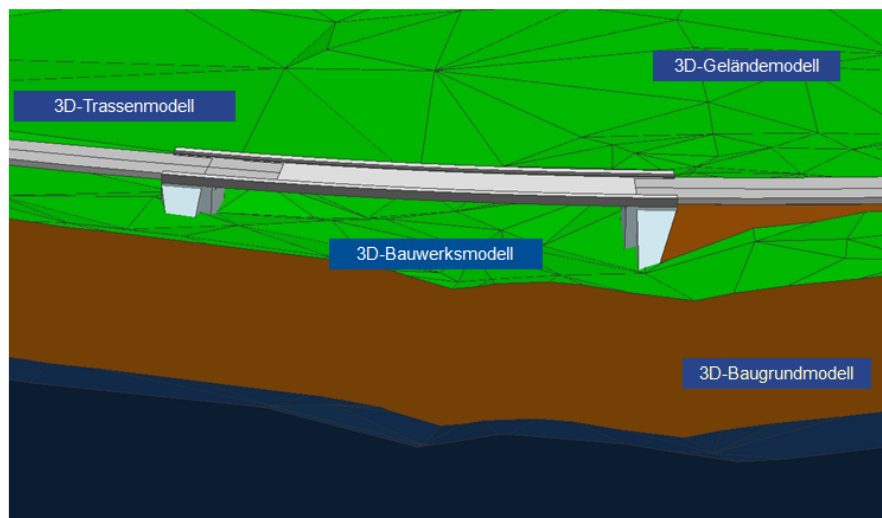


Abbildung 4: Integration diverser Datenmodelle für den Brückenentwurf

Im Rahmen des ForBAU Forschungsverbunds wurde der *ForBAU Integrator* (Ji et al. 2009) entwickelt. Dieser ermöglicht, diverse Datenmodelle im Infrastrukturbau in ein zentrales Datenmodell zu integrieren (Abb. 4). Dadurch wird eine optimale Grundlage für den parametrischen Brückenentwurf in *Siemens NX* zur Verfügung gestellt. *Revit Structure* verfolgt einen ähnlichen Ansatz und stellt dem Benutzer das Aufsatzprogramm „Bridge Extension“ zur Verfügung, das einen Import von Trassierungs- und Geländedaten als Grundlage für den Brückenentwurf ermöglicht.

Die aktuelle Version des IFC-Bridge-Formats unterstützt noch keine parametrische Verknüpfung des Baugrund- bzw. Geländemodells mit dem Brückenunterbau.

3.2 IFC-Bridge Viewer und Design Wizard

Für die Evaluierung des IFC-Bridge-Formats wurden zwei Viewer auf Basis von *Revit Structure* und *Siemens NX* implementiert. Das einzige bislang vorliegende Beispielbrückenmodell wurde vom französischen IFC-Bridge-Entwickler in *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CTSB) bereitgestellt. Es handelt sich um eine dreifeldrige Hohlkastenbrücke mit Voutungen im Stützbereich. Leider enthält das Beispielmodell keine Daten über den Unterbau und weitere Überbauelemente wie Kappe, Geländer oder Fahrbahnbelag.

Wie die Abbildung 5 zeigt, kann die 3D Geometrie des Überbaues mit Hilfe des IFC-Bridge-Formats zwischen verschiedenen CAD-Programmen vollständig ausgetauscht werden, wobei die parametrische Verknüpfung zwischen dem Trassierungsverlauf und der Geometrie des Brückenoberbaus nicht verloren geht.

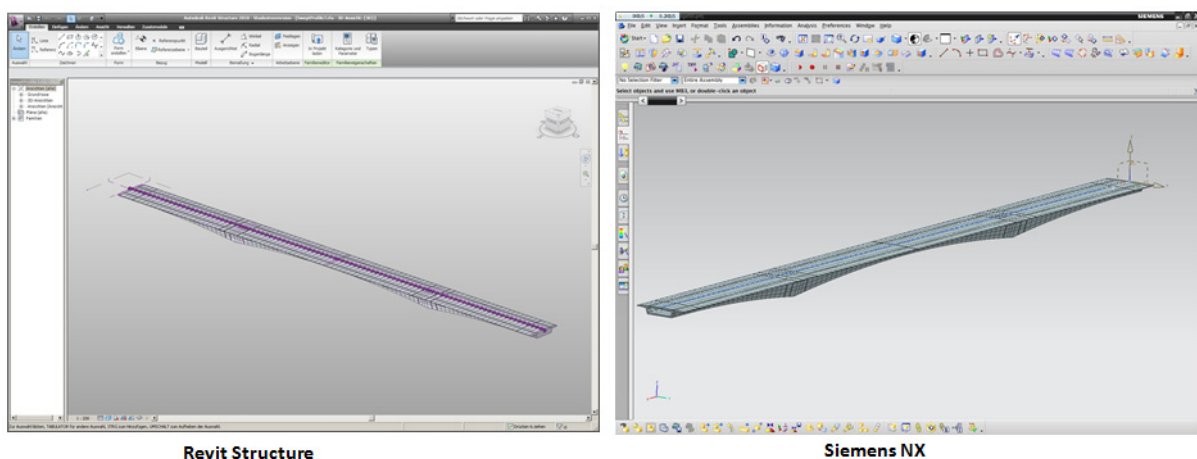


Abbildung 5: IFC-Bridge Viewer am Beispiel einer Hohlkastenbrücke

Da nur ein Beispielmodell vorhanden ist, waren weitere Untersuchungen noch nicht möglich. Zum Erzeugen weiterer Beispielmodelle wird im nächsten Schritt ein graphisches Assistentenprogramm (Bridge Design Wizard) für die 3D-Konstruktion von Brückenmodellen auf Basis von *Siemens NX* entwickelt. Der Benutzer soll damit in die Lage versetzt werden, in einer standardisierten Vorgehensweise Brückenmodelle parametrisch zu erzeugen und im IFC-Bridge-Format abzuspeichern.

Das Bridge Design Wizard ist sehr intuitiv aufgebaut (Abb. 6). Auf der linken Seite der Benutzeroberfläche befindet sich ein hierarchisch strukturiertes Bauteilnavigationsfenster, in dem zuerst die Grundlagen für den Entwurf definiert werden. Dazu gehört das Importieren des Baugrundmodells, des Trassenmodells und des digitalen Geländemodells in das CAD-System. Im nächsten Schritt wird die Brücke in Längsrichtung dimensioniert. In diesem Schritt müssen die Position der Widerlager, die Anzahl der Stützen und weitere Konstruktionsparameter wie die Stützweite, der Winkel zur Achse, festgelegt werden. Danach folgt die Spezifikation des Querschnitts,

wobei verschiedene Typen wie z.B. Hohlkasten, Massivplatte bzw. Plattenbalken zur Auswahl stehen. Die Konstruktionsparameter sind in der Skizze dargestellt und können mit Hilfe einer Datentabelle editiert werden.

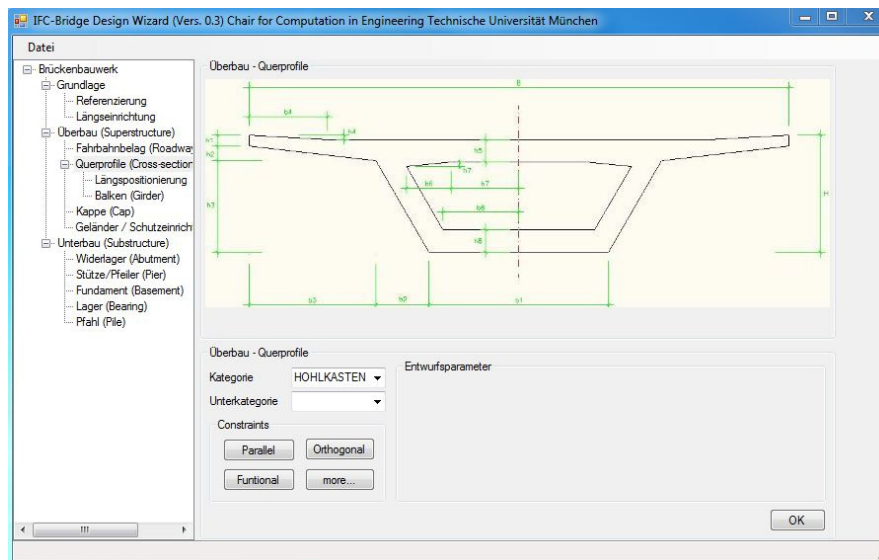


Abbildung 6: IFC-Bridge Design Wizard, Spezifikation der Querschnittparameter

Der erste Prototyp ist nur für den Entwurf einfacher IFC-basierter Brückenmodelle geeignet. Weitere Konstruktionselemente im Überbau wie Kappe, Geländer und Fahrbahnbelag sowie alle Unterbauelemente, unterstützt das IFC-Bridge-Format bislang noch nicht und sollen in der zukünftigen Version implementiert werden.

Ein weiteres Ziel ist, einen Weg hin zum Austausch von 3D-Brückenmodellen zwischen verschiedenen Applikationen in einem neutralen Format zu schaffen und auf diese Weise künftig die bislang fehlende Anbindung an Statik-Software zu realisieren.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden Entwicklungen rund um den Standard IFC-Bridge vorgestellt. Importfunktionen für *Revit Structure* und *Siemens NX* wurden implementiert, um die Struktur des IFC-Bridge-Formats zu analysieren. Der erste Prototyp eines auf NX-basierten Bridge Wizards wurde realisiert, der es erlaubt, Brückenmodelle parametrisch zu erzeugen und im IFC-Bridge-Format abzuspeichern. Damit soll der Weg hin zum Austausch von 3D-Brückenmodellen zwischen verschiedenen Applikationen in einem neutralen Format gebnet werden.

Das Prinzip des parametrischen Brückenentwurfs funktioniert und kann durch weitere praktische Anwendungen evaluiert werden. Allerdings erfüllt die aktuelle Version des IFC-Bridge-Formats bezüglich der Vollständigkeit der Konstruktionselemente nicht alle Anforderung des Brückenentwurfs. Für die Standardisierung des Formats müssen noch weitere Unterstützung mit mehreren Beispielmotellen verschiedener Brückenbauarten durchgeführt werden.

5 Referenzen

ARTHAUD, G., LEBEGUE, E., (2007). IFC-Bridge V2 Data Model, Edition fonctionnalité R7.

BORRMANN, A., JI, Y., WU, I-C., OBERGRIESSER, M., RANK, E., KLAUBERT, W., GÜNTNER W., (2009). ForBAU - The Virtual Construction Site Project. Proc. of the 26th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction, 2009, Istanbul, Turkey.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K., (2008). BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Wiley Press Inc.

JI, Y., BORRMANN, A., RANK, E., WIMMER, J., GÜNTNER, W., (2009). An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes Proc. of the 26th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction.

KATZ, C. (2008). Parametric Description of Bridge Structures. Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice, Vol. 94

LUKAS, K, JI, Y., OBERGRIESSER, M., BORRMANN, A., (2008). Parametrische Modellierung von Brückenbauwerken. In: Tagungsband des 20. Bauinformatik Forums.

OBERGRIESSER, M., JI, Y., BAUMGÄRTEL, T., EURINGER, T., BORRMANN, A., RANK, E. (2009). GroundXML – An Addition of Aligement and Subsoil specific Cross-sectional Data to the LandXML Scheme. Proc. of the 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing. Madeira, Portugal, September 2009.

SHAH, J. J., MÄNTYLÄ, M. (1995). Parametric and Feature-based CAD/CAM – Concepts, Techniques, Applications. Wiley Press Inc.

YABUKI, N., LEBEQUE, E., GUAL, J., SHITANI, T., ZHANTAO, L., (2006). International Collaboration for Developing the Bridge Product Model “IFC-Bridge”. Proc. of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering.

YABUKI, N., SHITANI, T., (2003). An IFC-based Product Model for RC or PC Slab Bridges. Proc. of the 20th International Conference on Information Technology in Construction