

PARAMETRISCHE MODELLIERUNG VON BRÜCKENBAUWERKEN*

Katharina Lukas¹, Yang Ji¹, Mathias Obergrießer² und André Borrmann¹

¹ Lehrstuhl für Computation in Engineering, Technische Universität München,
{lukas| y.ji | borrmann}@bv.tum.de

² Fachbereich Bauingenieurwesen Bauinformatik/CAD, Hochschule Regensburg
mathias.obergriesser@bau.fh-regensburg.de

Kurzfassung: Gerade bei der Planung von Brücken hat 3-dimensionales Modellieren wegen der komplexen Geometrien große Vorteile gegenüber dem traditionellen Entwurf in 2D-Schnitten. Eine zusätzliche Erleichterung und Steigerung der Effizienz besonders bei der Umsetzung von Änderungen kann durch parametrisches Modellieren erreicht werden. Der Einsatz parametrischer Modelle kann beispielsweise bewirken, dass sich ein Brückenmodell bei Änderungen der Straßenachse automatisch an diese anpasst. Das in den letzten Jahren von einem japanischen und einem französischen Forschungsteam gemeinsam entwickelte Produktmodell IFC-Bridge verwendet eine solche Parametrik. Da klassische bauspezifische CAD-Software kein parametrisches Modellieren erlaubt werden im aktuellen Forschungsvorhaben ForBAU die Einsatzmöglichkeiten von CAD-Programmen aus dem Maschinenbau evaluiert. Das Paper bespricht die Grundlagen des parametrischen Modellierens und gibt einen Überblick über bereits existierende Produktmodelle für Brücken.

1 Einleitung

Während im Hochbau schon seit mehreren Jahren mehr und mehr 3-dimensionale Modellierung eingesetzt wird, werden Ingenieurbauwerke wie Brücken immer noch traditionell in 2-dimensionalen Schnitten geplant. Gerade hier besteht aber ein hohes Optimierungspotential durch 3-dimensionale Modellierung. Durch die Abhängigkeit der

* Das vorgestellte Projekt wird von der Bayerischen Forschungsförderung im Rahmen des Forschungsverbunds „ForBAU – Virtuelle Baustelle“ gefördert.

Geometrie des Brückenüberbaus von der Achse der überführten Straße treten hier sehr komplexe Geometrien auf. Diese sind 2-dimensional nur schwer zu konstruieren, der Planer benötigt sehr viel Erfahrung und ein sehr gutes räumliches Vorstellungsvermögen.

Die Komplexität der Geometrie resultiert daraus, dass die Straßenachse in zwei Raumrichtungen gekrümmt ist: Im Lageplan, also in der x-y-Ebene, wird die Achse durch Kreisbögen beschrieben, die durch Übergangsbögen, im Straßenbau sind dies Klothoide, miteinander verbunden sind. Im Höhenplan, also dem Längsschnitt entlang der Straßenachse, ist die Achse aus Geradenstücken zusammengesetzt, deren Schnittpunkte durch Kreisbögen ausgerundet werden. Zusätzlich ist die Fahrbahn auch in Abhängigkeit vom Radius des Kreisbogens im Lageplan in Querrichtung geneigt, was die geometrische Komplexität des Brückenüberbaus zusätzlich erhöht.

Da die Geometrie der Brücke stark abhängig von der Straßenachse ist, ist es zudem wünschenswert, diese Abhängigkeit auch in der Modellierung abzubilden. Durch parametrische Abhängigkeit des Brückenmodells von der Straßenachse als Referenzlinie, kann die Brücke bei kleinen Änderungen der Achse, die in der Planungsphase noch relativ häufig auftreten, automatisch an diese angepasst werden.

Im Folgenden wird zunächst der Standard IFC-Bridge vorgestellt. Darauf folgt eine Definition des Begriffs „parametrische Modellierung“ sowie die Beschreibung davon, wie Parametrik im Standard IFC-Bridge umgesetzt wurde und welche Möglichkeiten es gibt, mit Hilfe von CAD-Programmen parametrische Modelle zu erstellen. Zuletzt wird das Konzept des Lehrstuhls Computation in Engineering der TU München vorgestellt.

2 IFC-Bridge

2.1 Entwicklung

Um das Jahr 2002 herum entwickelten sowohl ein französisches als auch ein japanisches Forschungsteam unabhängig voneinander jeweils ein eigenes auf IFC aufbauendes Produktmodell für Brücken [1]. Nachdem beide Gruppen voneinander erfahren hatten, wurde beschlossen, beide Modelle zusammenzuführen, um eine größere internationale Akzeptanz zu schaffen.

2.1.1 Das japanische Modell YLPC-Bridge

Das in Japan entwickelte Modell YLPC-Bridge hat seinen Fokus auf Spannbetonbrücken, in frühen Versionen sogar nur auf Brücken aus Hohlkörperplatten [2].

Das YLPC-Bridge-Modell baut auf der Grundstruktur von IFC2x auf. Insbesondere die Trennung zwischen geometrischen Objekten (IfcObject) und nichtgeometrischen Eigenschaften (IfcPropertyDefinition) blieb erhalten. Diese Trennung sorgt für eine höhere Flexibilität. So muss eine Eigenschaft, die sich mehrere geometrische Objekte teilen, z.B. der E-Modul, nicht mehrfach definiert werden [1], [2].

Zusätzlich zu den ursprünglichen IFC-Klassen wurde eine Klasse SlabOfBridge (Fahrbahnplatte) mit brücken- und spannbetonspezifischen Unterklassen wie Rebar (Betonstahl), AnchoringDevice (Anker), Sheath (Hüllrohr) oder PrestressingStrand (Vorspannkabel) sowie dazugehörige Property-Sets eingeführt [1], [2].

Eine herausragende Eigenschaft des YLPC-Bridge-Modells ist es, dass die Beton- und Spannstähle als selbstständige, 3-dimensionale Objekte beschrieben werden. Diese sind durch Instanzen der IFC-Klasse IfcRelContainedInSpatialStructure, einer Unterklasse von IfcRelationship, mit den, mittels B-rep ebenfalls als 3-dimensionale Körper beschriebenen, Betonelementen verknüpft [2].

2.1.2 Das französische Modell IFC-Bridge 1.0

Das französische Brückenmodell IFC-Bridge 1.0 war eine Weiterentwicklung des französischen Standards OA_EXPRESS aus dem Jahr 1998. Dieser war von der französischen Straßenbaubehörde SETRA entwickelt worden, um Daten zwischen dem 3D-CAD-System OPERA und dem FE-Programm PCP, beide ebenfalls Entwicklungen von SETRA, auszutauschen [1].

Das Modell soll alle Brückentypen abdecken und enthält daher auch Elemente wie Pylone oder Kabel.

Eine eigene Klasse IfcBridgeElement wurde als Komplement zur IFC-Klasse IfcBuildingElement eingeführt, um diese brückenspezifischen Elemente abbilden zu können. Dazu kamen noch die beiden Klassen IfcBridge und IfcBridgeStructureElement [1].

Die Besonderheit des französischen Modells ist es, dass die Geometrie der Brücke nicht nur als einfache IFC-Geometrie beschrieben werden kann, sondern auch in Abhängigkeit von einer Referenzkurve, z.B. der Straßenachse. Zu diesem Zweck wurde auch das Element Klothoide dem Modell hinzugefügt [1].

2.2 Aufbau

Das Produktmodell IFC-Bridge 2.0 stellt die Zusammenführung des japanischen Modells YLPC-Bridge mit dem französischen Modell IFC-Bridge 1.0 dar. Es übernimmt dabei die jeweiligen Vorteile beider Modelle: Aus YLPC-Bridge stammt die Möglichkeit,

den Betonstahl als einzelne Objekte abzubilden, aus IFC-Bridge 1.0 dagegen die Beschreibung der Brücke mit Hilfe einer Referenzlinie [3]. Diese Art der Beschreibung wird weiter unten noch einmal näher beleuchtet.

Zentraler Bestandteil des Modells IFC-Bridge 2.0 ist die Klasse `IfcReferenceSectionedSpine`. Diese beschreibt einen 3-dimensionalen Körper anhand einer Referenzkurve (`IfcReferenceCurve`) und mehreren Querschnitten (`IfcProfileDef`). Diese Querschnitte bekommen über die Klasse `IfcReferencePlacement` eine Position auf der Achse zugewiesen [3].

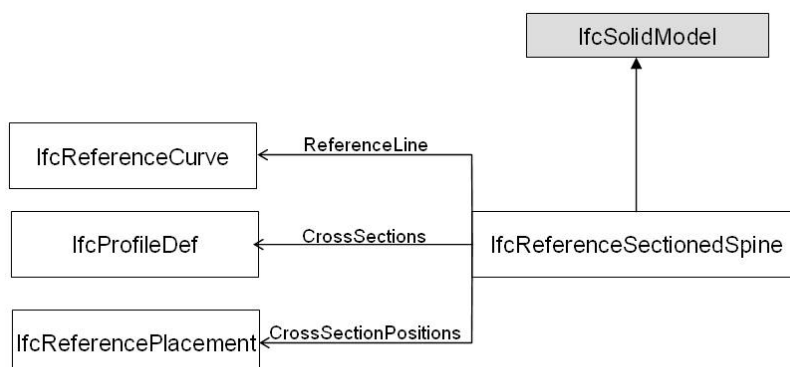


Abb. 1: Ausschnitt aus dem Klassendiagramm von IFC-Bridge

Um als Referenzkurve der Brücke auch eine wirkliche Straßenachse verwenden zu können, wurden zusätzlich eine Klasse `IfcBridgeClothoid` zur Beschreibung von Klothoiden hinzugefügt. Die Klothoide wird darin beschrieben durch

- ihre Lage, festgelegt durch den Punkt, in dem die Klothoide die Krümmung Null hat,
- ihre Orientierung, festgelegt durch die Richtung der Tangente an diesem Punkt,
- den Klothoidenparameter A und
- den Start- und den Endpunkt der Klothoide [3].

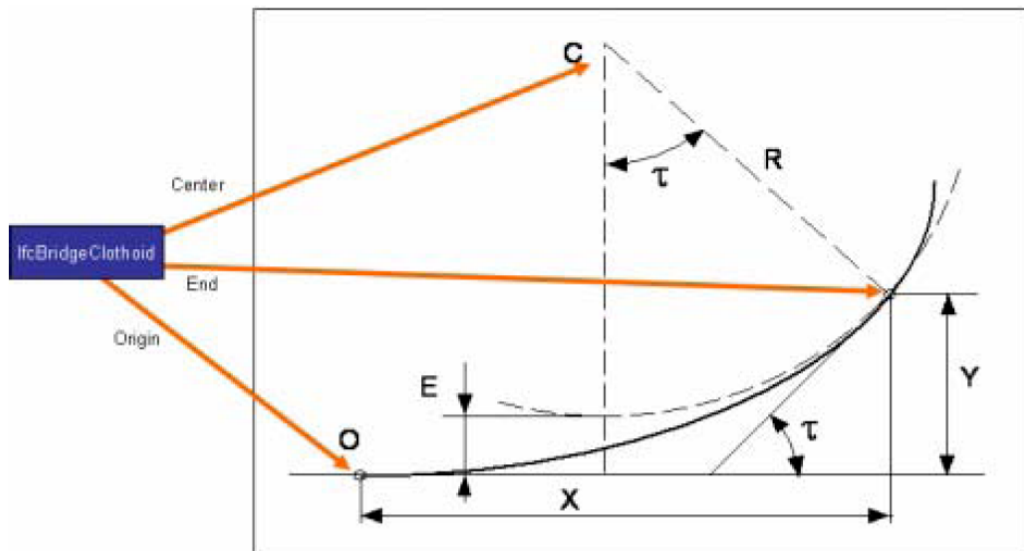


Abb. 2: Definition einer Klothoide aus [3]

3 Parametrische Modellierung

3.1 Grundlagen

Parametrische Modellierung bedeutet, dass Objekte nicht mit einer festen Geometrie und festen Eigenschaften erzeugt werden, sondern dass Geometrie und Eigenschaften über Parameter beschrieben werden. Dies führt dazu, dass sich die Objekte bei Änderungen automatisch aktualisieren können [4].

Man kann zwei Arten der parametrischen Modellierung unterscheiden: Bei der ersten werden nur Abhängigkeiten innerhalb eines Objekts beschrieben. Die Objekte sind dabei Instanzen vordefinierter Elementklassen [4].

Die zweite Art der parametrischen Modellierung ist für die Brückenmodellierung von größerer Bedeutung. Hier werden die einzelnen Objekte in Abhängigkeit voneinander beschrieben. Die so definierten Regeln führen dazu, dass entweder eine Warnung ausgegeben wird, wenn sie verletzt werden oder dass das Modell automatisch verändert wird, um nach einer Änderung den Regeln wieder zu genügen [4].

In [5] und [6] werden einige mögliche Regeln beschrieben.

3.2 Parametrische Modellierung in IFC-Bridge

Wie weiter oben beschrieben, kann in IFC-Bridge die Brücke in Abhängigkeit der Straßenachse beschrieben werden. Dazu wird eine gekrümmte Koordinate s eingeführt, die entlang der Achse verläuft.

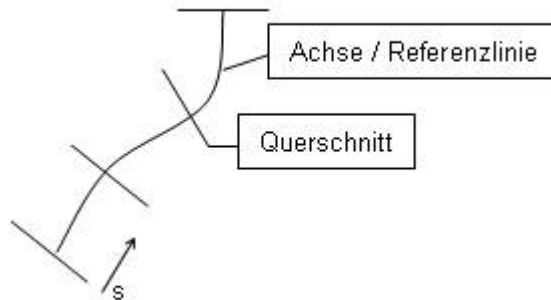


Abb.3: Definition von Achse und Querschnitten in IFC Bridge (nach [3])

Die Bestandteile der Brücke werden relativ zu dieser Koordinate eingefügt. Dabei besteht die Möglichkeit, entweder Querschnitte senkrecht zu definieren oder aber beliebige Einfügungen vorzunehmen, die gegenüber der Achse auch verdreht sein können. Bei letzteren ergibt sich das Problem, welche Koordinate s für diese Punkte zu wählen ist: Die Koordinate, die sich durch senkrechte Projektion ergibt, oder den Einfügepunkt. Die zweite Variante hat den Vorteil, dass sich damit auch Punkte außerhalb der definierten Achse beschreiben lassen [6].

Ein weiteres Problem dieser Art der parametrischen Modellierung ergibt sich daraus, dass parallel versetzte Kurven, beispielsweise der Fahrbahnrand, eine andere Länge haben. Da sich aber alle Kurven auf die gleiche Koordinate s beziehen, führt dies dazu, dass sich bei allen Kurven außer der Referenzlinie Unterschiede zwischen wahrer Länge und Referenzlänge ergeben [6].

Zudem ist die Parallele einer Klothoide selber keine Klothoide. Die Geometrie einer solchen Kurve lässt sich entweder angenähert durch NURBS beschreiben oder muss an allen Punkten explizit aus der Referenzgeometrie berechnet werden [6].

3.3 Erstellung parametrischer Brückenmodelle

Die klassische bauspezifische CAD-Software bietet keine Möglichkeit diese Parametrik beim Modellieren wiederzugeben. Einen Ausweg bieten Softwarelösungen aus dem Bereich des Maschinenbaus wie zum Beispiel Unigraphics NX oder Autodesk Inventor.

Mit diesen Tools ist es möglich, parametrische Abhängigkeiten zwischen einzelnen Objekten zu definieren.

In NX kann die parametrisierte Geometrie des Modells im visualisierten Volumenkörper bzw. in der Skizzenebene gesteuert werden. Die Verwaltung der Objekte erfolgt hierarchisch als Baumstruktur im Part-Navigator. Constraints zwischen den Objekten können im Baugruppen-Navigator oder im Grafikfenster erstellt werden [7].

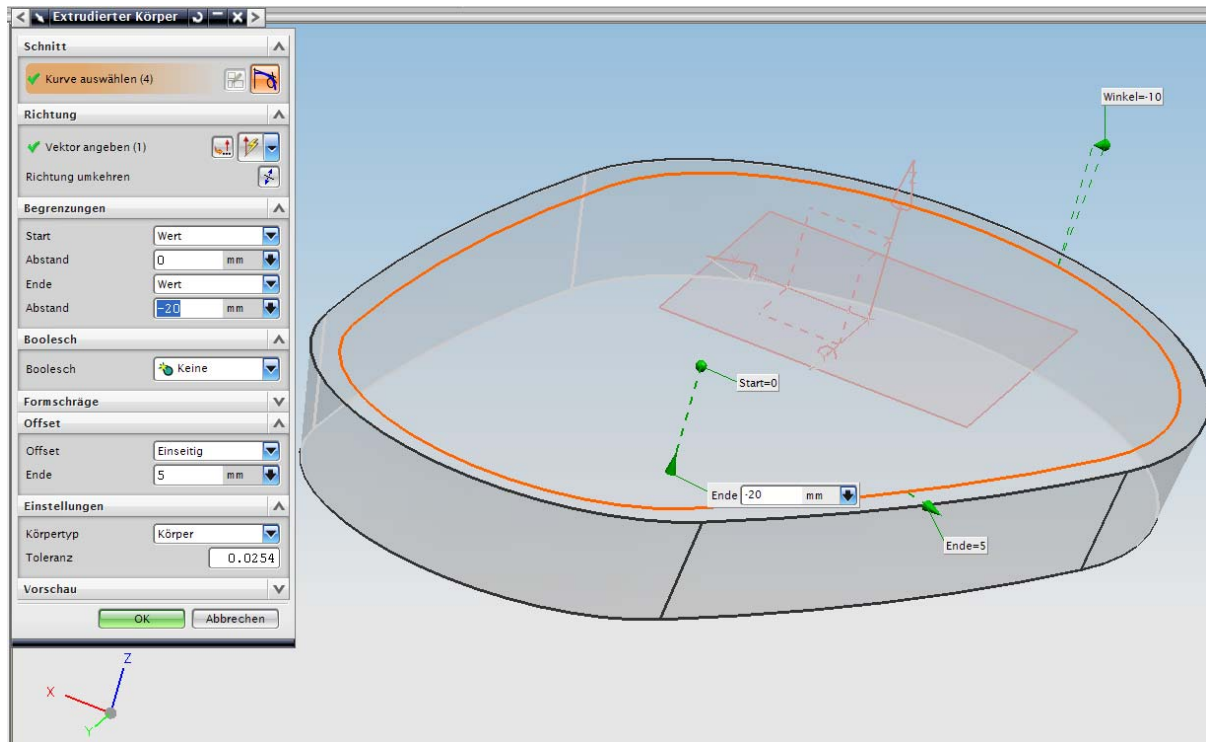


Abb. 4: Modellierung mit Unigraphics NX

Die Parametrik der Brücke kann hier also so beschrieben werden, dass die Straßenachse als Objekt beschrieben wird, von dem die restlichen Bestandteile der Brücke direkt oder indirekt abhängen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die 3-dimensionale und vor allem parametrische Modellierung bietet bei der Planung von Brücken viele Vorteile.

Der Standard IFC-Bridge beschreibt eine Möglichkeit, eine Brücke in Abhängigkeit von einer Straßenachse zu definieren. Allerdings bieten die klassischen bauspezifischen CAD-Programme keine Möglichkeit, diese umzusetzen. Ein Umweg über maschinenbauspezifische CAD-Programme wie Unigraphics NX oder Autodesk Inventor erscheint notwendig.

Diesen Programmen fehlen aber einige bauspezifische Eigenschaften wie die Möglichkeit Bewehrung darzustellen oder normgerechte Baupläne abzuleiten.

Literatur

- [1] N. Yabuki, E. Lebegue, J. Gual, T. Shitani, L. Zhantao: International Collaboration for Developing the Bridge Product Model “IFC-Bridge”. In: Proceedings of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montréal, 2006
- [2] N. Yabuki, T. Shitani: An IFC-based Product Model for RC or PC Slab Bridges. In: Proceedings of the 20th International Conference on Information Technology in Construction, 2003
- [3] G. Arthaud, E. Lebegue: IFC-Bridge V2 Data Model, Edition fonctionnalité R7, 2007
- [4] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston: BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, Wiley, 2008
- [5] J. J. Shah, M. Mäntylä: Parametric and Feature-based CAD/CAM – Concepts, Techniques, Applications, Wiley, 1995
- [6] C. Katz: Parametric Description of Bridge Structures, In: Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice – Vol. 94, 2008
- [7] Siemens PLM Software: <http://www.ugsplm.de/produkte/nx/>