

ENTWICKLUNG INTEGRIERTER 3D-TRASSENPRODUKTMODELLE FÜR DIE BAUABLAUFSIMULATION*

Yang Ji¹, Katharina Lukas¹, Mathias Obergriesser², André Borrmann¹

¹ Lehrstuhl für Computation in Engineering, Technische Universität München

{y.ji | lukas | borrmann}@bv.tum.de

² Fachbereich Bauinformatik/CAD, Hochschule Regensburg

mathias.obergriesser@bau.fh-regensburg.de

Kurzfassung: Die Ablaufsimulation besitzt großes Potential für die Optimierung von Bauprozessen. Dies gilt ganz besonders für Trassenbauprojekte, bei denen Anzahl und Art der einzusetzenden Erdbau-Maschinen sowie die Lage von Zwischenlagerflächen und Deponien entscheidenden Einfluss auf die zeitliche und finanzielle Entwicklung des Projekts haben. Die produktmodellbasierte Integration der Bauablaufsimulation mit CAD-Programmen ermöglicht die konsistente Wiederverwendung von Planungsdaten. Im Paper wird zunächst der aktuelle Stand der Forschung zur Produktmodellierung von Trassen evaluiert. Im Anschluss wird das im Rahmen des ForBAU-Projekts entwickelte Integrationskonzept für Trassenproduktmodelle vorgestellt, die alle für eine Bauablaufsimulation relevanten Daten beinhalten. Das Trassenproduktmodell besteht aus drei verschiedenen Teilmodellen: dem 3D-Baugrundmodell, dem Modell der geplanten Trasse und dem 3D-Geländemodell. Diese werden mittels fachspezifischer CAD-Systeme aus Infrastrukturplanung, Vermessung und Geotechnik erstellt. Die im Paper vorgestellte Entwicklungsumgebung dient zur Zusammenführung dieser Teilmodelle und erlaubt dem Nutzer anhand des Trassenproduktmodells alle simulationsrelevanten Parameter interaktiv zu bearbeiten und das entstehende simulationsspezifische Modell in einem standardisierten Format exportieren, das als Input von einer Simulations-Engine gelesen werden kann.

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

1 Einführung und Überblick

Die Realisierung eines Straßenbauprojekts spielt der Faktor Erdbau eine entscheidende Rolle. Die Kalkulation der mengenmäßigen Erdbauleistung und die Auswahl geeigneter Erdbau-Maschinen beruhen heute auf der Baustelle immer stark auf der Erfahrung der leitenden Ingenieure. Als Hilfsmittel werden in diesem Bereich zahlreiche Tafelwerke mit Berechnungsformeln bzw. Kalkulationsprogramme zur Leistungsberechnung angeboten [1]. Diese Hilfsmittel basieren auf statischem Verhalten und berücksichtigen keine dynamischen Prozessvorgänge und baubetrieblichen Einflussfaktoren wie zum Beispiel verkehrs- und maschinentechnische Randbedingungen. Außerdem besteht keine Möglichkeit, Engpässe in Prozessen festzustellen bzw. Entscheidungsunterstützung für durch mangelhafte Planung ausgelöste Notfallsituation zu gewährleisten.

Um diese „Was passiert, wenn“ - Fragen rechnergestützt zu beantworten, werden zahlreiche Simulationskonzepte speziell für den Straßenbau entwickelt. Durch die produktmodellbasierte Integration der Bauablaufsimulation mit CAD-Programmen können Planungsdaten aus CAD-Programmen als Input für Bauablaufsimulatoren konsistent wieder verwendet werden [1].

Im Folgenden werden der Stand der Forschung zur baubetrieblichen Ablaufsimulationen und zur Entwicklung von Produktmodellen für den Straßenbau erläutert und ein produktmodellbasiertes Integrationskonzept für die Bauablaufsimulation vorgestellt.

2 Stand der Forschung

2.1 Baubetriebliche Ablaufsimulation

Unter dem Begriff „Ablaufsimulation bzw. Prozesssimulation“ (kurz Simulation) versteht man eine allgemeine, numerische Methode zum Abbilden und Analysieren komplexer Prozesse [1]. Der Kern der Simulation ist die Erfassung der Daten in der realen Welt durch ein digitales Datenmodell [3]. Abhängig vom eingesetzten mathematischen Modell bzw. der Kombination von verschiedenen Modellen ergeben sich unterschiedliche Arten von Simulationen. Diese sind in [4] [5] [6] genau untersucht worden. Speziell für die Simulation baubetrieblicher Prozesse wurden in den letzten Jahrzehnten unterschiedliche Simulatoren entwickelt [7] [8] [9].

Der aktuelle Stand von Forschung und Entwicklung ist besonders durch ein bausteinorientiertes Simulationskonzept gekennzeichnet. Dabei kommt u.a. die objektorientierte Modellierung und Virtualisierung von Betriebsmitteln, z.B. beweglicher Elemente wie Transportfahrzeugen, Baumaschinen oder stationärer Elemente wie Baggern, Förderwegen sowie organisatorischer Elemente wie Pausen und Störungen als Bausteine für

die Prozesssimulation zum Einsatz. Auf diese Art sind Simulationen wegen der Wiederverwendbarkeit und der Erweiterbarkeit von Bausteinobjekten mächtiger und dank der Visualisierungstechnik anschaulicher geworden. Ein sehr bekannter, kommerzieller Simulator in diesem Sinne ist die Software *Plant Simulation* von der Firma Siemens PLM Software [10] (früher UGS).

Ein weiterer Trend der Entwicklung ist die steigende Anforderung an die Integration von CAD-Programmen und Simulationswerkzeugen, um Entwurfspläne aus der Planungsphase konsistent für die Prozesssimulation verwenden zu können. Hierbei unterscheidet man zwischen geometrie- und produktmodellbasierten Integration. Die produktmodellbasierte Integration setzt den Geometrieaustausch fort und gibt die zusätzlichen Informationen an den Simulator weiter. Mehr zum Thema Produktmodell findet man in [11] [12] [13].

2.2 Produktmodelle für Hochbau

Die Entwicklung von Produktmodellen für den Hochbau begann mit der Erweiterung des STEP-Standards (Standard for the Exchange of Product Model Data) [16] aus dem Maschinenbau um bauspezifischen Application Protocols (AP). Da sich der Fokus des STEP-Standards primär an der Fertigungsindustrie orientiert, wurde später, auf Initiative weltweit führender CAD-Softwarehersteller für Architekturplanung und Ingenieurentwurf, ein bauspezifischer Standard, die IFC (Industry Foundation Classes) [17], ins Leben gerufen.

Die IFC unterscheiden sich von STEP u.a. dadurch, dass der IFC-Standard auf die gesamte Bauprojektentwicklung ausgerichtet ist. Das bedeutet, alle Informationen innerhalb eines Projektlebenszyklus, angefangen bei der geometrischen Modellierung über baustatische Berechnungen und produktionspezifische Informationen für CAM-Systeme bis zum Facility Management und dem Betrieb des Bauwerks, können in einem einheitlichen Informationsmodell (IFC-Produktmodell) abgebildet werden (Abb. 1). Die IFC sind stark objektorientiert und unterstützen grundsätzlich 3D-Geometriemodellierung.

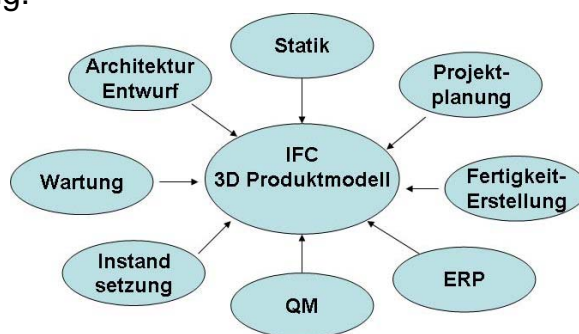


Abb. 1: IFC-Produktmodell

Die im Bauwesen marktführenden CAD-Hersteller wie Autodesk, Nemetschek und Bentley haben sich für ihre aktuellen CAD-Programme bereits ein IFC-Zertifikat erworben. Eine vollständige Liste findet man in [18].

2.3 Produktmodelle für Straßenbau

Für den Straßenbau entstanden mehrere nationale bzw. internationale Standardisierungen auf Basis des STEP- und IFC-Standards. Bekannte nationale Standards sind OKSTRA [19] aus Deutschland, EuroSTEP [21] aus Schweden und TransXML [22] aus den USA. Weltweit sind IFC-Bridge [23] und LandXML [20] bekannte Standards, wobei IFC-Bridge nicht für den Straßenbau entwickelt wurde, sondern für den Brückenbau.

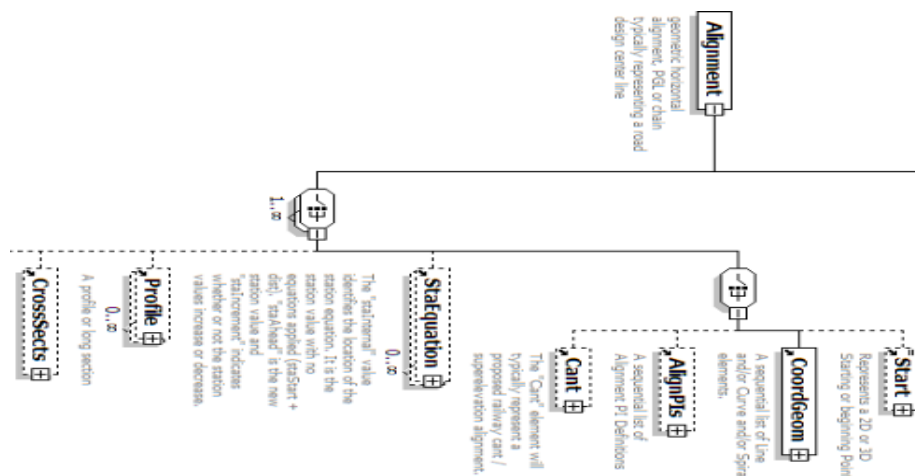


Abb. 2:

Schema : Alignment (Quelle: www.landxml.org)

LandXML

Zwei Standards sind besonders interessant. Der deutsche Standard OKSTRA und der internationale Standard LandXML. OKSTRA (Objekt Katalog für Straßen- und Verkehrswesen) wird von der Bundesanstalt für Straßenwesen standardisiert und weiter entwickelt. In diesem Objektkatalog sind sämtliche Objekte des Straßen- und Verkehrswesens einheitlich in Form eines EXPRESS-Schemas [16] definiert, insbesondere die in Deutschland geltenden Richtlinien einschließlich des Ablaufs von Planung, Gestaltung und Entwurf eines Straßenbauprojekts. Die Umsetzung des OKSTRA-Standards in die Praxis erfordert jedoch großen Aufwand für die CAD-Softwarehersteller. Das Standardaustauschformat OKSTRA-CTE hat sich erst seit den letzten Jahren im großen Umfang durchgesetzt.

Der Standard LandXML basiert auf dem W3C-Standardisierten Extensible Markup Language (XML). Dank dem weit verbreiteten XML-Standard als Datenaustauschformat in der Softwarebranche wurde LandXML von Anfang an besser durch Programmierwerkzeuge unterstützt. Im Prinzip ist LandXML eine Sammlung von bauspezifischen XML-

Schemas, die die Struktur der Daten in einem XML-Dokument festlegen. Ein XML-Schema ist hierarchisch aufgebaut und erlaubt Definition und Wiederverwenden von komplexen Datenstrukturen wie das Beispiel in der Abb. 2 zeigt.

In Abbildung 2 wird die Struktur einer Trasse (*Alignment*) durch mehrere untergeordneten Elemente definiert. Diese Teilelemente dürfen mehrmals (1...n) bzw. nur einmal (0...1) vorkommen. In diesem Beispiel beschreibt das Element *CoordGeom* den Lageplan einer Achse mit den untergeordneten Elementen Linie (*Line*), Kreisbogen (*Curve*) und Klothoide (*Spiral*) (Abb. 3). Weitere Beschreibungselemente auf der gleichen Hierarchieebene wie *CoordGeom* sind *Profile* und *CrossSects*, die die Längsprofile und den Querschnittkörper einer Trasse wie Gradienten, Querneigung- und Böschungswinkel, Fahrbahnplatte, Achspunkte, Volumen des Damms bzw. Einschnitts beschreiben.

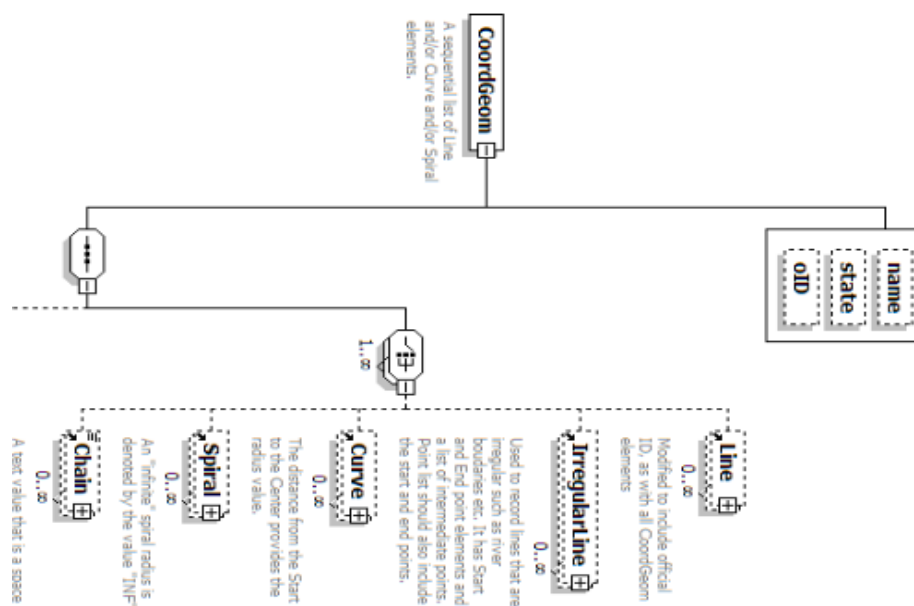


Abb. 3: LandXML Schema: CoordGeom (Quelle: www.landxml.org)

Auf Grund der breiten Unterstützung von LandXML und der flexiblen Erweiterbarkeit von XML-Schemas eignet sich LandXML besonders gut als Basismodell für die integrierte Entwicklung von 3D-Trassenproduktmodellen [15]. In folgendem Abschnitt wird ein Konzept vorgestellt, das die Entwicklung integrierter 3D Trassenmodelle auf Basis von LandXML ermöglicht.

3 Integriertes 3D-Trassenproduktmodell

Das im Forschungsvorhaben ForBAU verfolgte Konzept besteht darin, zuerst die bereits mit traditionellen CAD-Programmen für Infrastrukturplanung, wie zum Beispiel Autodesk Civil3D und Obermeyer ProVi, konstruierten Trassen- und Geländemodellen über LandXML zu importieren. Das importierte Modell enthält die Geometrie und ihre para-

metrischen Beschreibungen. Die Integration von Baugrundinformationen erfolgt durch Erweiterung des LandXML-Schemas. Das LandXML-basierte Baugrundmodell soll in der Lage sein, die Bodenschichten sowie die Bodenparameter aus dem Bohrprofile strukturiert abzubilden. Die Daten für das Baugrundmodell werden über ASCII- bzw. VRML-Format aus geotechnischen CAD-Programmen, wie z.B. GoCAD (Geological Objects Computer Aided Design) importiert. Nachdem das Trassenmodell, das Geländemodell und das Baugrundmodell in LandXML modelliert sind, wird ein Trassenproduktmodell, ein sogenanntes „Master-Modell“ entwickelt, das die Beziehung zwischen den Teilmodellen beschreibt.

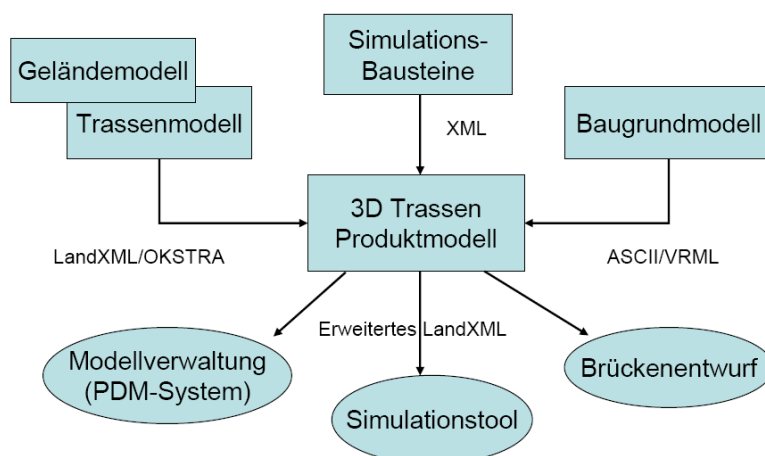


Abb.4: Integrationskonzept

Bei einem Straßenbauprojekt werden Entwurfspläne während der Ausführungsphase nach jeder Vermessung bzw. aus Maschinendaten aktualisiert und die neuen Mengen für die Abrechnung herangezogen [1]. Diese prozessrelevanten Daten wie Mengenangaben und Maschinendaten können im Mastermodell integriert werden. Zudem können die grundlegenden simulationsrelevanten Bausteine wie Förderwege, Bagger, Deponie und Zwischenlager über eine graphische Benutzeroberfläche vom Benutzer interaktiv bearbeitet werden.

Die in dem LandXML-basierten Trassenproduktmodell enthaltenen Daten können im XML-Format für den Simulator exportiert werden. Weitere Nutzungen sind die Produktmodellverwaltung in einem Produktdatenmanagementsystem (PDM-System) [14] und die Integration mit einem Brückenentwurfsprogramm.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Paper wird der Stand der Forschung im Bereich Ablaufsimulation und Trassenproduktmodellierung sowie die produktmodellbasierte Integration zwischen CAD-Programmen und Simulationswerkzeugen erläutert. Des Weiteren wird ein Konzept vor-

gestellt, das die Entwicklung integrierter Trassenproduktmodelle auf Basis von standardisierten Produktmodellen für den Straßenbau ermöglicht. Die zukünftige Arbeit wird sich auf die Umsetzung dieses Konzeptes und eine qualifizierte Erweiterung des LandXML-Standards für Baugrundinformationsmodell und simulationrelevanten Bausteine konzentrieren.

Literatur

- [1] R. Chahrour: Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau. In: Institut für Bauwirtschaft an der Universität Kassel (Hrsg.): Schriftenreihe Bauwirtschaft, S. I. Forschung. Kassel University Press, Kassel, 2007.
- [2] ForBAU Verbund - Virtuelle Baustelle: www.forbau.de, 2008.
- [3] VDI 3633 Blatt 11: Simulation von Logistik- Materialfluss- und Produktionssystemen. In: Simulation und Visualisierung, VDI Verlag, Düsseldorf, 2003.
- [4] F. Liebl: Problemorientierte Einführung. 2. Auflage, Oldenburg, München/Wien, 1995.
- [5] A. M. Law, D. W. Kelton: Simulation Modeling and Analysis, Industrial Engineering and Management Science, 3. Edition, McGraw-Hill Inc, 2000.
- [6] T. Sauerbier: Theorie und Praxis von Simulationssystemen. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden, 1999.
- [7] D. W. Halpin: CYCLONE-Methode for Modeling Job Site Processes. Journal of the Construction Devison. 489 – 499, September, 1977.
- [8] L. Y. Liu, P. G. Ioannou: Graphical Object-oriented Simulation System for Construction Process Modeling. In: Proceedings of the eighth conference on computing in civil engineering, 1139 – 1146, ASCE, Dallas, Texas, USA, 1992.
- [9] V. Franz, R. Chahrour: Computersimulation –Warum nicht auch im Bauwesen? In: Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau (tis), Springer Bauverlag, Heft 10/2002, 21-26.
- [10] Siemens PLM Produkte: <http://www.ugsplm.de/solutions/>, 2008.

- [11] T. Hartmann, F. Neuberg, M. Fischer: Integrating Three-dimensional Product Models into Engineering and Construction Project Information Platforms. In: Proceedings of Bringing ITC Knowledge to Work, 2007.
- [12] Eastman, C.M., Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction. Boca Raton, FL, CRC Press, 1999.
- [13] C. Eastman, P. Teichholz, R. Sacks, K. Liston: BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley & Sohn Inc. 2008.
- [14] V. Arnold, H. Dettmering, T. Engel, A. Karcher: Product Lifecycle Management beherrschen. ISBN: 3-540-22997-3, Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- [15] D. Rebolj, A. Tibaut, N. Cus-Babic, A. Magdic, P. Podbreznik: Development and Application of a Road Product Model. In: M.J. Skibniewski (Editor): Automation in Construction, Volumen 17, 719 - 728, Elsevier Verlag, 2008.
- [16] STEP (ISO-Standard 10303): Industrial Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange. ISO, Geneva, 1994.
- [17] IFC (IAI Standard): <http://www.iai-international.org/>
- [18] IFC Zertifikate: http://www.buildingsmart.de/2/2_01_01.htm
- [19] OKSTRA: <http://www.okstra.de/>.
- [20] LandXML: www.landxml.org.
- [21] B. G. Wenzel: The Road Product Model of the Swedish National Road Administration, EuroSTEP, 1995.
- [22] P. Scarponcini: TransXML: Establishing Standards for Transportation Data Exchange. In: Proceedings of Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, 14-16, Montreal, Canada, 2006.
- [23] 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