

## **ForBAU – Modellbasierte Projektabwicklung im Ingenieurbau**

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner, Dipl.-Ing. Cornelia Klaubert, Dipl.-Ing. Johannes Wimmer

Technische Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

### **Ausgangssituation**

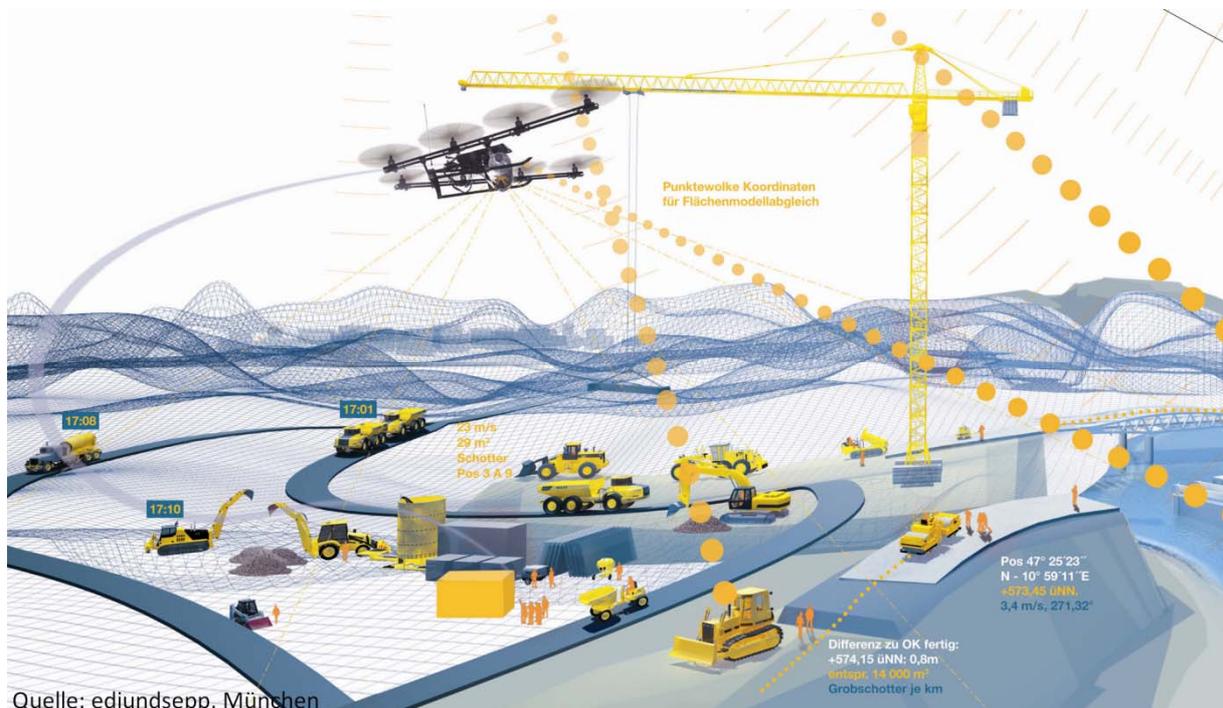
Das Bauwesen unterliegt heute enormen Anforderungen. Immer komplexere Bauvorhaben müssen in immer kürzerer Zeit realisiert werden. Gleichzeitig erzeugt der starke Wettbewerb in der Branche einen deutlichen Kostendruck. Diesen Anforderungen wird die deutsche Bauindustrie nur durch eine Steigerung der Effizienz bei der Planung und Abwicklung von Bauvorhaben begegnen können. Im Augenblick muss jedoch konstatiert werden, dass die im Bauwesen erreichte Prozessqualität, vor allem hinsichtlich Termintreue und Kostensicherheit, stark hinter der anderer Branchen zurückbleibt.

Die Gründe hierfür sind vielfältig und liegen zum einen in den schwierigen Rahmenbedingungen, denen die Bauindustrie unterliegt, darunter die Fertigung von Unikaten, die Abhängigkeit von Witterungseinflüssen, die starke Fragmentierung der Branche und die ausgeprägte Segmentierung entlang der Prozesskette. Zum anderen lässt sich aber eine im Vergleich mit anderen Industriezweigen nur sehr eingeschränkte Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien beobachten. Zwar werden für spezifische Teilaufgaben bereits ausgereifte Softwareprodukte eingesetzt, vor allem in der Verbesserung des Datenflusses und damit in der Weiterverwendung bestehender digitaler Daten besteht jedoch erhebliches Potenzial für eine Effizienz- und Qualitätssteigerung.

Der durchgängige Einsatz digitaler Technologien kann Prozessabläufe transparenter gestalten, indem Schnittstellen reduziert und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten optimiert wird. In vielen Branchen wie beispielsweise dem Fahrzeug-, Schiffs- oder Anlagenbau werden diese Möglichkeiten genutzt. In der Baubranche hingegen finden diese Konzepte bisher nur wenig Anwendung [GÜN-11].

Ein entsprechender Handlungsbedarf wurde erkannt, so dass im Januar 2008 der Forschungsverbund „Virtuelle Baustelle – Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung“ (ForBAU) mit dem Ziel startete, ein komplexes Bauvorhaben

ganzheitlich in einem digitalen Baustelleninformationsmodell abzubilden – der Digitalen Baustelle – die in allen Projektphasen als zentrales Planungsinstrument zur Verfügung steht. An der Umsetzung dieser Vision arbeitete ein interdisziplinäres Team von insgesamt sieben Lehrstühlen der Technischen Universität München, der Universität Erlangen-Nürnberg, der Hochschule Regensburg und des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums (DLR) zusammen mit mehr als 30 Praxispartnern, darunter Baufirmen, Planungs- und Ingenieurbüros, Baumaschinenhersteller und IT-Partner für digitale Werkzeuge. Gefördert wurde der interdisziplinäre Verbund über drei Jahre bis Dezember 2010 von der Bayerischen Forschungsstiftung.



**Abbildung 1: Die Vision der Digitalen Baustelle**

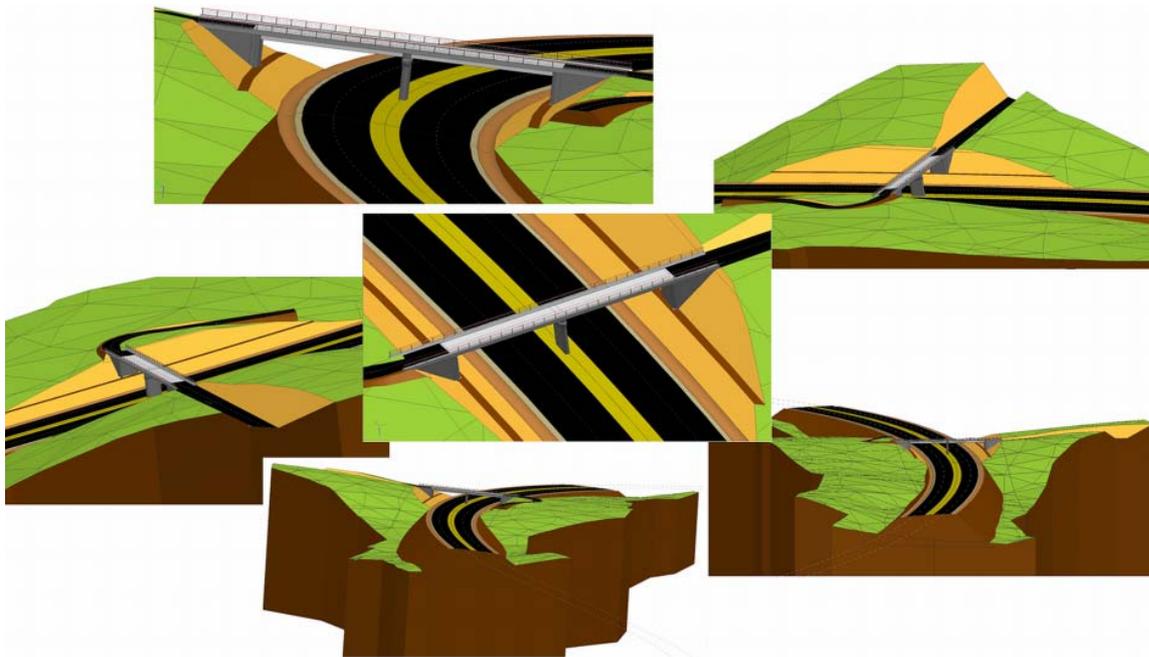
## **Neue Technologien für die Bauplanung und -abwicklung**

Die Digitale Baustelle ist ein virtuelles Abbild der realen Baustelle (Abbildung 1). Sie beinhaltet hochwertige 3D-Planungsdaten und ermöglicht, den Bauablauf zunächst detailliert zu planen, virtuell zu testen und später das tatsächliche Baugeschehen zu überwachen [GÜN-11]. Die wesentlichen Komponenten der Digitalen Baustelle werden im Folgenden erläutert.

### **3D-Modellierung**

Durch die dreidimensionale Modellierung werden Fehler, wie z.B. Kollisionen zwischen Bauelementen, schon am Arbeitsplatz des Konstrukteurs gefunden.

Kostenintensive Korrekturen auf der Baustelle werden reduziert. Moderne CAD-Programme ermöglichen neben der dreidimensionalen auch die vollparametrische Modellierung. Dadurch können Änderungen, wie beispielsweise die Modifikation von Stützenabständen einer Brücke, sehr schnell durch Änderung eines Parameters umgesetzt werden. Ziel von ForBAU war aber nicht nur die Modellierung des Bauwerks, sondern auch die des Baugrunds, des Geländes und der Baustelleneinrichtung sowie die Verschneidung aller Modelle zu einem Gesamtmodell – der Digitalen Baustelle (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Parametrisches 3D-Modell einer Baustelle (Quelle: [GÜN-11])**

Hierfür müssen die Teilmodelle zusammengeführt werden. Die Herausforderung besteht darin, dass die einzelnen Modelle, wie häufig im Bauwesen, mit unterschiedlichen, hochspezialisierten Anwendungen erzeugt und zu einem Gesamtmodell zusammengefügt werden. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des ForBAU-Projekts eine *Integrator* genannte Software entwickelt. Der Integrator ermöglicht es die unterschiedlichen Teilmodelle zu einem Gesamtmodell zu integrieren.

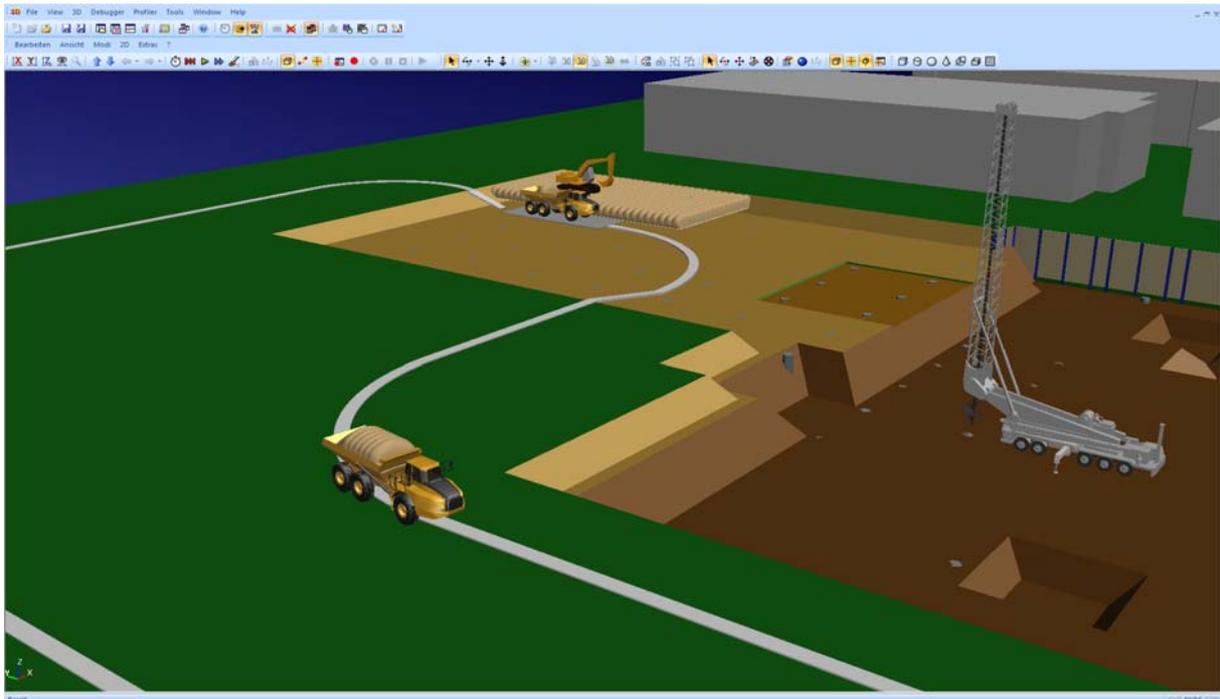
Eine weitere wesentliche Aufgabe des ForBAU-Integrators ist die Berechnung der ein- bzw. auszubauenden Erdmassen. Zur Ermittlung dieser Informationen führt der Integrator eine Verschneidung des 3D-Trassenmodells mit dem 3D-Baugrund- und dem 3D-Geländemodell durch. Diese Informationen können als Eingangsdaten für die Simulation von Erdbauprozessen genutzt werden.

### **Ablaufsimulation**

Ein weiterer Aspekt der Digitalen Baustelle beschäftigt sich mit der Simulation der Baustellenabläufe. Diese ermöglicht es, kritische Prozesse frühzeitig im virtuellen Modell zu testen. Dadurch lassen sich bei der späteren Durchführung Verzögerungen oder unnötige Stillstandszeiten vermeiden. Treten in der Abwicklungsphase dennoch Verzögerungen z.B. durch ungünstige Witterungsbedingungen auf, können auf diese flexibel reagiert werden, indem die Ressourcen in der Simulation an die veränderte Situation angepasst werden.

Ein Anwendungsbereich für die Simulation stellt die Planung von Erdbauarbeiten bei großen Baustellen dar. Hierbei stellt sich z.B. die Frage, welches Erdvolumen von einem Einschnitt zu welchem Damm transportiert werden soll, damit möglichst geringe Kosten entstehen. Bisher wurde versucht diese über die Verringerung der mittleren Transportentfernung zu senken. Die Transportkosten sind jedoch nicht nur von der Entfernung, sondern auch von der Ausprägung der Wege, den verwendeten Fahrzeugen und weiteren Baustellenrandbedingungen abhängig.

Daher wurde in ForBAU die Möglichkeit geschaffen, die Kosten für unterschiedliche Transportkombinationen über die Ablaufsimulation zu gewinnen. Mit Hilfe der Kopplung zum Integrator kann eine mathematische Optimierung durchgeführt werden, in welcher ermittelt wird, wie viel Masse von welchem Einschnitt zu welchem Damm transportiert werden soll, damit die insgesamt benötigten Transportkosten pro Kubikmeter minimal sind. Dadurch werden in der Ausführung weniger Transportfahrzeuge benötigt und Kosteneinsparungen können somit realisiert werden (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Simulation von Erdbauprozessen**

### **Zentrales Datenmanagement**

Die hohe Arbeitsteiligkeit und die Fülle an erzeugten Daten verlangt eine einheitliche Datenplattform, welche sicherstellt, dass alle wichtigen Informationen von der Planungs- bis zur Ausführungsphase den Beteiligten zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen des ForBAU-Projektes wurde deutlich, dass Produktdatenmanagement- (PDM) Systeme eine passende Lösung für das Datenmanagement im Bauwesen sind. Das gilt besonders für den Infrastrukturbau, wo bisher noch kein standardisiertes Produktmodell existiert. Im Gegensatz zu anderen Systemen können auch 2D-Pläne an der Stelle mit verwaltet werden, wo noch kein 3D-Modell existiert – ohne auf eine objektorientierte Ablagestruktur verzichten zu müssen. Das macht PDM-Systeme zu einer flexiblen und praxistauglichen Lösung zur Abwicklung von Bauprojekten.

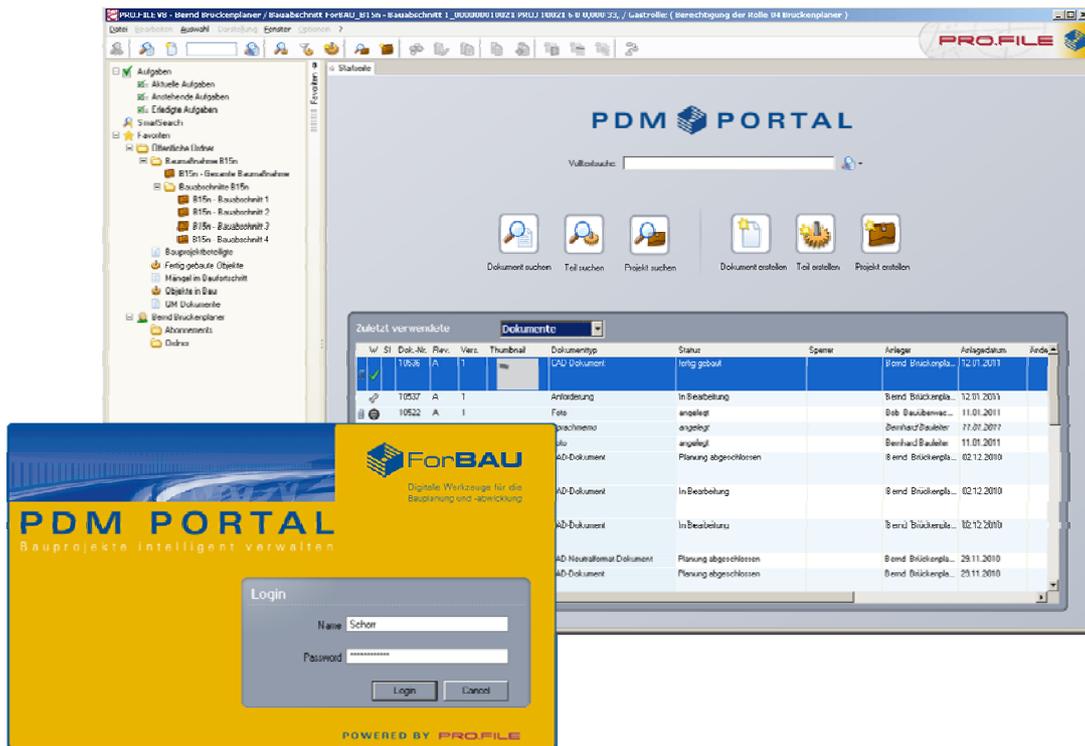


Abbildung 4 ForBAU PDM-Portal

## RFID-Kennzeichnung

Der Mehrwert einer hochwertigen Planung ergibt sich erst in der Ausführungsphase, da diese für den größten Anteil der Baukosten verantwortlich ist. Der Nutzen hochwertiger Planungsinformationen wird aktuell jedoch deutlich reduziert, da diese in der Ausführungsphase auf Grund des mangelhaften Abgleichs mit dem realen Geschehen auf der Baustelle innerhalb kurzer Zeit veralten.

Zur Steuerung und Kontrolle einer Baustelle werden also Prozessdaten - möglichst in Echtzeit - benötigt. Damit diese während der Bauausführung schnell und sicher erfasst werden können, kommen Identifikationstechnologien zum Einsatz. Eine Identifikationstechnologie mit großem Potential ist die RFID-Technologie. RFID steht für Radio-Frequency Identification und bezeichnet eine Technologie zum sichtkontaktfreien Lesen und Schreiben von Informationen mit Hilfe elektromagnetischer Übertragung. Diese Technologie wird bereits seit Jahren zum Beispiel für die Tierkennzeichnung oder zur Zugangskontrolle eingesetzt, findet aber seit einigen Jahren auch verstärkten Einsatz in der Bauindustrie.

Im Rahmen von ForBAU wurden für verschiedene Bau-Betriebsmittel RFID-basierte Kennzeichnungslösungen entwickelt.

In Zusammenarbeit mit der Bauer AG wurde ein Konzept zur RFID-basierten Kennzeichnung von Rohren des Spezialtiefbaus entwickelt (Abbildung 5). Ziel war

die Dokumentation der Betriebsstunden der einzelnen Bohrrohrelemente. Mit der Dokumentation der Einsatzstunden ergeben sich neue Möglichkeiten bei der Erstellung von Wartungsplänen.

Die Kennzeichnung von Schalungsteilen birgt das Potenzial, diese sowohl auf dem Bauhof als auch auf der Baustelle genau verfolgen zu können. So kann die Mietdauer jedes einzelnen Teils individuell dokumentiert und abgerechnet werden. Verwechslungen können ausgeschlossen, Beschädigungen dem Verursacher zugeordnet und Einsatzzeiten der Einzelteile bestimmt werden, so dass auch Wartungsintervalle angepasst und Verschleißgrenzen bestimmt werden können. Im Rahmen von ForBAU wurden daher unterschiedliche Lösungen für die Kennzeichnung vom Systemschalungselementen mit RFID entwickelt (Abbildung 5).

Betonfertigteile finden bei Bauvorhaben immer stärkere Verwendung. Durch die Verknüpfung eines Bauteils mit Informationen, wie z.B. einer eindeutigen Nummer, der Charge oder Hebe- und Lagerungsvorschriften, können viele dieser Prozessschritte vereinfacht werden. Auch birgt die Nutzung von eingegossenen Transponder (Abbildung 5) im weiteren Lifecycle eines Bauwerks, z.B. bei Wartungsarbeiten, großes Potenzial.



**Abbildung 5 RFID Kennzeichnung von Bau-Betriebsmitteln**

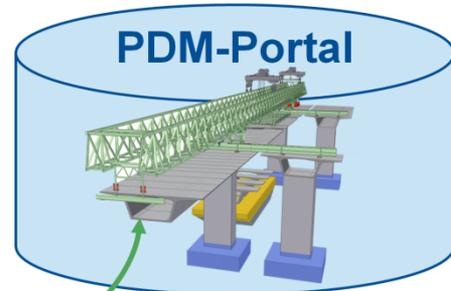
## Mobile Datenübertragung

Um den durchgängigen Informationsfluss von der Baustelle in das zentrale PDM-System zu ermöglichen, wurde das Konzept der mobilen Baudatenerfassung, kurz mBDE entwickelt (Abbildung 6). Ziel dieser Lösung ist es Informationen zum Baufortschritt in Echtzeit an das Digitale Baustelleninformationsmodell weiterzuleiten und den Baufortschritt somit zentral zu dokumentieren. Damit können digitale Plandaten mit den Ist-Daten der Baustelle verknüpft werden, so dass ein Fortschrittsmonitoring der Bauleistung ermöglicht wird. Die Lösung kann dabei folgendes Einsatzszenario unterstützen: Zur Baufortschrittskontrolle scannt der Polier auf der Baustelle mit einem RFID-fähigen Handheld ein Bauteil ab. Wird der darin enthaltene Transponder erkannt, erscheint die auf dem Transponder gespeicherte Bauteilnummer auf dem Display. Der Mitarbeiter entscheidet, ob er weitere Informationen über das Bauteil eingeben möchte. Ist das der Fall, kann er den Status des Bauteils (z.B. *geliefert* oder *eingebaut*) wählen und einen Kommentar hinzufügen. Im nächsten Schritt können mögliche Mängel dokumentiert werden, indem sie durch einen Kommentar beschrieben, mit einem Foto belegt und/oder mit einer Sprachmemo aufgezeichnet werden.

Reales Bauwerk



Digitales Bauwerk



Status  
Mängel  
Zeitstempel  
Prüfer  
Unterschrift  
etc.

**Abbildung 6: Funktionsweise der mobilen Baudatenerfassung**

Die aufgenommenen Bauteilinformationen (Status, Kommentar, Bild, Sprachmemo) werden an das zentrale Datenmanagementsystem gesendet und dem jeweiligen Bauteil angeheftet. Damit ist der Baufortschritt zu jedem Zeitpunkt auch in der Digitalen Baustelle dokumentiert.

## Validierung der Ergebnisse

In allen Projektphasen von ForBAU wurden die Anforderungen, Konzepte und Ergebnisse an realen Pilotbaustellen validiert. Dabei wurden die den Konzepten zugrunde liegenden Annahmen überprüft und die Praxistauglichkeit der Entwicklungen an den Anforderungen der täglichen Baupraxis getestet, weiter optimiert und umgesetzt. So wurde z.B. für das Baureferat München an der Pilotbaustelle "Mae West - Effnerplatz" im Vorfeld des Aufstellens einer Skulptur mit ca. 52 m Höhe, das Einheben der Skulptur hinsichtlich möglicher Kollisionen im Straßenraum untersucht. Hierzu wurden terrestrisches Laserscanning und Daten aus luftgestützter Vermessung zu einem 3D-Modell (siehe Abbildung 7) kombiniert und darin eine 4D-Simulation und Animation des Herstellvorgangs umgesetzt.

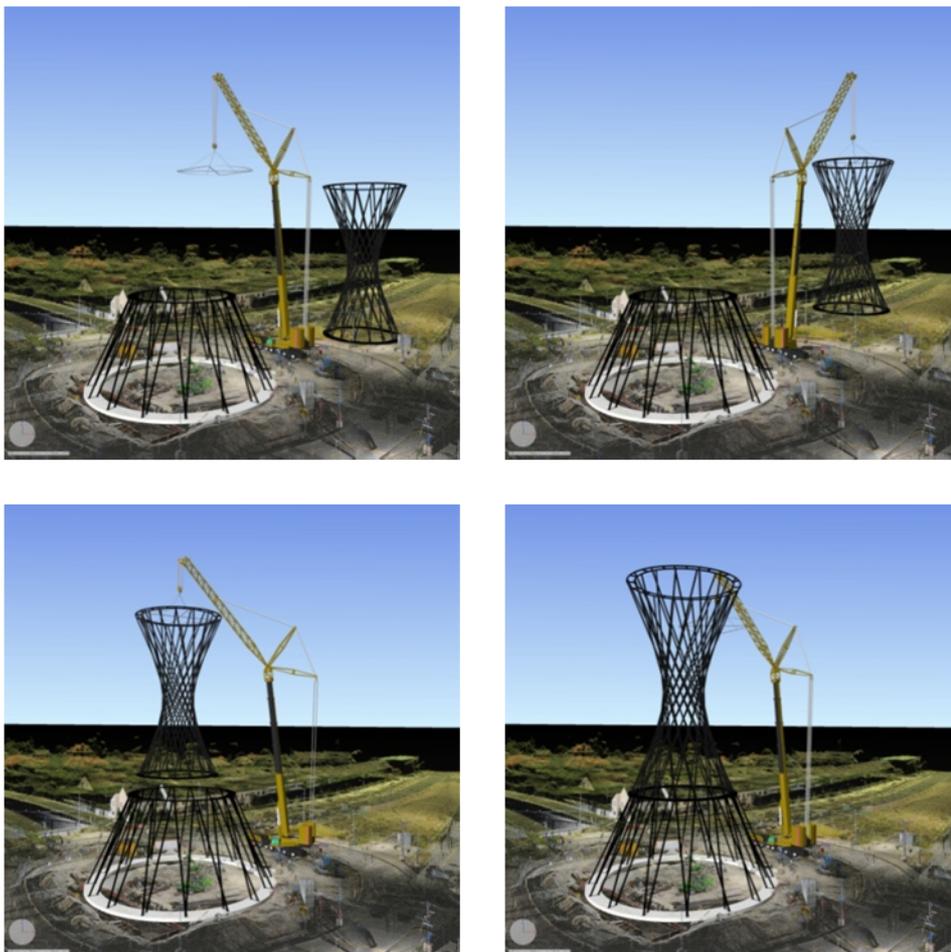


Abbildung 7 Pilotbaustelle Mae West

## Fazit

Das Ziel von ForBAU, die Schaffung einer Digitalen Baustelle, wurden in den letzten drei Jahren durch die Weiterentwicklung und Verknüpfung unterschiedlicher Technologien vorangetrieben. Die Methoden der parametrischen dreidimensionalen

Modellierung und der Ablaufsimulation wurden auf den Infrastrukturbau übertragen. Durch intelligente Schnittstellenprogramme, wie z.B. dem *Integrator* ist es nun möglich verschiedene Teilmodelle zum Gesamtmodell der Digitalen Baustelle zu verknüpfen. Zudem wurden Möglichkeiten geschaffen diese sehr detaillierten Planungsdaten in der Ausführung zu nutzen. Mit Hilfe der mobilen Baudatenerfassung auf Basis von RFID wurde es möglich Informationen aus der Bauausführung zu erfassen und in Echtzeit an das zentrale Datenmanagementsystem zu übergeben. Die erarbeiteten Konzepte wurden anhand verschiedenen Pilotbaustellen wie z.B. der Mae West überprüft und validiert.

### **Danksagung**

Wir danken der Bayerische Forschungsstiftung recht herzlich für die Förderung des Projektes sowie den teilnehmenden Projektpartnern für das große Engagement.

### **Literatur**

- [ASS-10] Association of Equipment Management Professionals: AEMP Telematics Data Standard;  
[http://www.telematicstandard.org/The\\_AEMP\\_Telematics\\_Data\\_Standard\\_Support\\_Site/Welcome\\_files/AEMPtelematicsdatastandardV1\\_1.pdf](http://www.telematicstandard.org/The_AEMP_Telematics_Data_Standard_Support_Site/Welcome_files/AEMPtelematicsdatastandardV1_1.pdf); Aufruf am 21.12.2010
- [FOR-09] ForBAU: Zwischenbericht des Forschungsverbundes "Virtuelle Baustelle", 2009
- [GÜN-11] Günthner, W. A.; Borrmann, A.: Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen, Berlin, 2011
- [GÜN-08] Günthner, W. A.; Zimmermann, J.: Logistik in der Bauwirtschaft - Status quo, Handlungsfelder, Trends und Strategien, ISBN: 978-3-9811819-8-2, München, 2008

### **Ansprechpartnerin:**

Dipl.-Ing. Cornelia Klaubert

Geschäftsführung ForBAU

TU München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Tel.-Nr. 089 289 159 73

E-Mail [klaubert@fml.mw.tum.de](mailto:klaubert@fml.mw.tum.de)