

Forschungsverbund ForBAU

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner
 Dipl.-Ing. Stephan Kessler,
 Dipl.-Ing. Markus Schorr
 Dipl.-Ing. Johannes Wimmer

1. Visualisierung von Bauabläufen mit Hilfe der Virtuellen Baustelle

Die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit kann nicht nur über geringere Kosten, sondern vor allem auch über Innovationen in der Bauprozessgestaltung und Ausführungsqualität erfolgen. Genau hier setzt der Forschungsverbund ForBAU an. Der durchgängige Einsatz von EDV-Hilfsmitteln soll Prozessabläufe transparenter gestalten, indem standardisierte digitale Werkzeuge die Zusammenarbeit zwischen Planern, Konstrukteuren und Dienstleistern optimieren. ForBAU betrachtet mehrere Teilaspekte, wobei der erste in der Bauplanung beginnt: Die verschiedenen 3D-Modelle von Baugelände und Baugrund sollen mit 3D-Planungsmodellen des Bauwerks verknüpft und mit dem Bauablaufplan kombiniert werden. Dadurch entsteht ein 4D-Baustelleninformationsmodell, das in einem Produktdatenmanagement-System verwaltet wird. Diesem 4D-Modell werden von der Planungs- bis zur Ausführungsphase alle wichtigen Informationen hinzugefügt. Die Prozesse auf der Baustelle werden damit transparenter und können somit zeitaktuell gesteuert werden. Ein weiterer Teilaspekt beschäftigt sich mit der Simulation der Baustellenabläufe, insbesondere im Erdbau. Diese ermöglicht es, kritische Prozesse vorausschauend im virtuellen Modell zu testen. Dadurch lassen sich bei der späteren Durchführung Verzögerungen oder unnötige Stillstandzeiten vermeiden. Schwierigkeiten in der Bauausführung werden vorab erkannt, und alle Abläufe können bereits in der Planungsphase visualisiert werden.

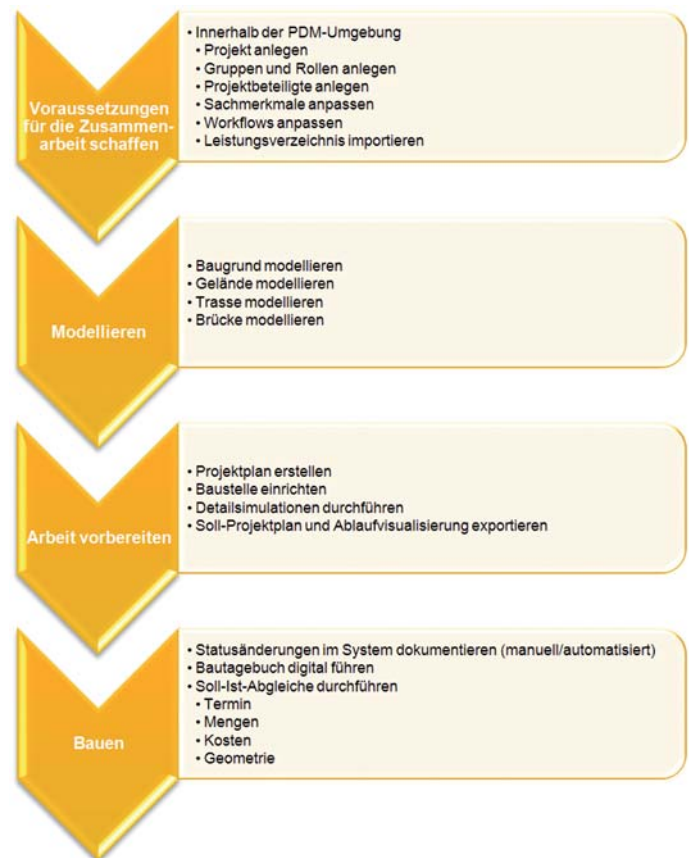
2. Transparenz im Bauablauf

Eine der großen Herausforderungen der Informationstechnologie im Bauwesen besteht derzeit darin, die Aspekte der Modellierung von Bauwerken sowie die Prozesse in Bauplanung und -ausführung sinnvoll miteinander zu verknüpfen. Zielsetzung muss es daher sein, Konzepte zu entwickeln, um parametrische 3D-Modelle zu etablieren und diese um zeitliche bzw. prozessrelevante Komponenten zu erweitern. Zudem müssen all diese Informationen für sämtliche Beteiligten zugänglich sein. Für das Zusammenspiel dieser Bereiche wurde im Rahmen von ForBAU ein integriertes, durchgängiges Konzept erarbeitet, das die Transparenz im gesamten Bauablauf steigert.

3. Ein Bauprojekt mit Hilfe des ForBAU-Konzeptes abwickeln

In diesem Abschnitt sollen chronologisch die Prozesse in Bauplanung und -abwicklung unter Anwendung des ForBAU-Konzeptes ab der erfolgreichen Auftragsvergabe an ein Konsortium beschrieben werden. Dabei sollen die Vorteile einer durchgängigen Projektabwicklung aufgezeigt und innovative Methoden für die Bauplanung und -abwicklung vorgestellt werden. Abbildung 3-1 stellt eine Übersicht der einzelnen Schritte dar.

Der Ansatz beschränkt sich auf die Trassen- und Brückenplanung, kann aber auch auf den Hochbau adaptiert werden.



3-1: Ein Bauprojekt mit Hilfe des ForBAU-Konzeptes abwickeln

3.1 Voraussetzungen für die Zusammenarbeit schaffen

Transparenz im Bauablauf ist eng verknüpft mit der Forderung, alle Projektbeteiligten je nach ihrer Aufgabe mit den für sie relevanten und aktuellen Informationen zu versorgen. Deshalb wurde im ForBAU-Projekt eine unternehmensübergreifende Plattform für alle Beteiligten eines großen Infrastrukturprojektes entwickelt. Als Grundlage hierfür dienen Systeme, die sich in anderen Branchen wie beispielsweise dem Maschinenbau bereits bewährt haben. Hier werden so genannte Produktdatenmanagement-Systeme (PDM-Systeme) zur ganzheitlichen, strukturierten und konsistenten Verwaltung aller Daten, Dokumente und Prozesse, die bei der Entwicklung neuer oder der Modifizierung bestehender Produkte über den gesamten Produktlebenszyklus generiert, benötigt und weitergeleitet werden müssen, verwendet [itm05]. Im Rahmen von ForBAU wird untersucht, inwieweit sich diese Technologie auch auf das Bauwesen übertragen lässt. Die wesentlichen Vorteile eines solchen Systems lassen sich wie folgt darstellen:

- aktuelle Daten für alle Projektbeteiligten (→ einheitliche Informationsbasis)

- 3D-Produktmodell steht im Zentrum der Arbeit
- Suchzeiten werden radikal reduziert
- verteiltes Arbeiten und Simultaneous Engineering¹ wird ermöglicht
- transparente, durchgängige und schnellere Abläufe durch digitale Workflows²
- Datensätze werden mit Status³ versehen

Die PDM-Systeme sind jedoch eher als Werkzeug, nicht als fertige Lösung zur Abwicklung von Bauprojekten zu verstehen. Umfangreiche Anpassungsarbeiten und Sonderprogrammierungen sind nötig, um die Systeme für einen bestimmten Anwendungsfall produktiv einsetzbar zu machen [Bor-09]. Hierzu gehören z. B. die Erstellung von elektronischen Workflows oder die Implementierung von Dokumenten- und Sachmerkmalen zur Verschlagwortung und Strukturierung der Datensätze. Diese weitreichenden Anpassungsarbeiten sind im Rahmen von ForBAU bereits in großen Teilen erfolgt. Sie wurden als Vorlagen eingestellt, um kleinere projektspezifische Anpassungen möglichst schnell und einfach realisieren zu können. Die Untersuchungen geben Anlass zur Annahme, dass PDM-Systeme im Bauwesen große Potenziale bieten, ein Projekt vom ersten Gedanken bis zur Wartung, umfassend und durchgängig auf einer Plattform zu verwalten.

Soll nun also ein neues Tiefbauvorhaben starten, so wird in der PDM-Umgebung zu Beginn ein neues Bauprojekt angelegt. Bereits vordefinierte bauspezifische Gruppen und Rollen stehen für das Rechtemanagement zur Verfügung und können je nach Bedarf ergänzt oder angepasst werden. Im nächsten Schritt werden die beteiligten Akteure angelegt und mit Ihrer jeweiligen Rolle und Gruppe verknüpft. Workflows sowie Dokumenten- und Sachmerkmale können auf Basis der vorgefertigten Templates noch einmal projektspezifisch angepasst werden. Im nächsten Schritt wird das Leistungsverzeichnis (LV) ins System importiert. Es wird zum einen als d83- sowie auch als xlsx-Datensatz vorgehalten. Außerdem werden die Einzelpositionen des LVs ebenfalls als xlsx-Dateien importiert. Hierfür wurde ein Konverter entwickelt. Das Projekt wird produktiv geschaltet und die eigentliche Arbeit kann starten.

3.2 Modellieren

Mit Hilfe des aus dem Mining-Bereich stammenden Programmes Surpac wird auf Basis der Aufschlussbohrungen zunächst ein 3D-Modell des Baugrundes erstellt und in das PDM-System portiert. Den passenden „Deckel“ auf das Baugrundmodell stellt das Geländemodell dar, welches per Multikameraaufnahmen aus einem Helikopterflug über der Baustelle gewonnen wird.

Im Infrastrukturplanungsbüro wird dann mit der Software Autodesk Civil 3D der Trassenverlauf modelliert und mit Hilfe der Direktintegration in das PDM-System eingecheckt⁴. Es wird automatisch ein entsprechender Datencontainer für das Trassenmodell erzeugt und die Datei darin abgelegt. Die Anforderungen aus den LV-Einzelpositionen für den Trassenabschnitt werden mit dem Datencontainer verlinkt. Über einen Jobserver wird von der Civil 3D-Nativdatei ein 3D-pdf sowie ein JT⁵-File erstellt, welches im gleichen Datencontainer vorgehalten wird. So können auch Projektbeteiligte mit dem Trassenmodell arbeiten, die keine CAD-Expertise besitzen. Das Neutralformat JT hat besondere Relevanz, da es im späteren Verlauf für die Ablaufsimulation direkt weiterverwendet werden kann. Der Container erhält den initialen Status „In Bearbeitung“ und liegt damit in erster Version und Revision vor. Bezüglich der Datenstruktur wurde folgende Konvention entwickelt.

Stück für Stück wird das Modell nun vom Konstrukteur verfeinert und es werden weitere, neue Versionen erzeugt. Wenn der Trassenplaner nun der Meinung ist, die Arbeit korrekt abgeschlossen zu haben, so erfolgen via Workflow interne sowie externe Prüfungen durch diverse Entscheider. Alle Freigaben oder Zurückweisungen sind im System nachvollziehbar und vollständig dokumentiert. Sind die Prüfer nicht mit dem Modell einverstanden, so können sie Ände-

rungswünsche per Markup/Redlining kenntlich machen und der Konstrukteur erhält das Modell mit den Anweisungen zur Überarbeitung zurück. Bei jeder erfolgten Freigabe ändert sich der Status des Datencontainers für den Trassenentwurf, bis zum Ende der Planungsphase der Status „Freigegeben zum Bau“ erreicht wird. Ergebnis der Trassenplanung sind im Wesentlichen Lage- und Höhenplan (Gradiente), was dreidimensional betrachtet eine Raumkurve inkl. der Trassenneigung in jedem Punkt bedeutet. Der am Lehrstuhl für Computation in Engineering der TU München entwickelte Integrator2NX kann diese Raumkurve in das 3D-CAD Tool Siemens NX importieren und für den Brückenentwurf weiter nutzbar machen [JiY-09]. Diese CAD-Datei mit der Raumkurve wird ins PDM-System portiert, ein entsprechender Datencontainer gebildet und mit Merkmalen versehen. Die Basis für die Brückenmodellierung ist damit gelegt. Im CAD-Programm NX werden nun vom Widerlager zum Überbau bis hin zur Schwarzdecke und dem Geländer alle Bauteile des Gesamtbauwerks vollparametrisch modelliert. Außerdem ist es möglich, einen Ausschnitt aus dem Gelände- und Baugrundmodell mit in das System zu laden, um die Szenerie besser darstellen zu können. Da NX mit echten Volumenkörpern arbeitet, denen ein Material zugewiesen werden kann, sind im Modell bereits alle Massen automatisch hinterlegt. Ändert sich inzwischen aufgrund einer Planungsänderung der Trassenverlauf, so wird in Civil 3D eine neue, aktuelle Revision der Trasse erzeugt. Der Brückenplaner wird per Workflow über diese Änderung informiert und kann die geänderte Raumkurve und Neigung der Trasse mit Hilfe von Integrator2NX aktualisieren. Da das NX-Brückenmodell vollparametrisch an die Trassierungslinie gebunden ist, wird das Modell automatisch an den neuen Verlauf angepasst. Da es sich um echte Volumenmodelle handelt, werden im Rahmen der automatischen Anpassung auch direkt alle Massen aktualisiert. Eine Neukonstruktion der Brücke aufgrund geänderter Rahmenbedingungen entfällt. Der Konstrukteur sollte lediglich überprüfen, ob alle Anpassungen korrekt erfolgt sind. Hat der Brückenplaner seine Arbeiten abgeschlossen, so stößt er, ähnlich wie beim Trassenentwurf, einen Workflow an und nach internen sowie externen Prüfungen erfolgt die Freigabe zum Bau bestimmter Gewerke über einen Statuswechsel.

3.3 Arbeit vorbereiten

Bevor mit dem Bau begonnen werden kann, muss in der Arbeitsvorbereitung die Projektplanung erfolgen. Hierfür wird mit Hilfe der Projektmanagement-Software MS Project zunächst ein erster Entwurf des Bauzeitenplans erstellt. Dieser kann nun mit Hilfe der Detailsimulation weiter abgesichert werden.

Um die Grundlagen für eine simulationsgestützte Planung im Erdbau zu schaffen, wurden die aus der Literatur bekannten Berechnungsverfahren für Lade- und Transportgeräte untersucht. [Bau-06] [Gir-03] [Hüs-92] In diesen wird in einem ersten Schritt die Leistung des Ladegeräts ermittelt, um darauf basierend die Transportgeräte abzustimmen. Die Berechnung der Ladegeräteleistung ist ausreichend bekannt und durch vielfältige Einflussfaktoren parametrierbar. Ein deutliches Optimierungspotenzial liegt hingegen in der Berechnung der Transportleistung, im Speziellen in der Berechnung der Umlaufzeiten der Fahrzeuge. In bisherigen Verfahren wurde die Fahrtzeit über die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge auf den unterschiedlichen Streckenabschnitten abgeschätzt oder mittels Richtwerten und Diagrammen gewonnen. In weiteren Methoden werden die Fahrwiderstände der Motorleistung gegenübergestellt, um daraus die maximal mögliche Fahrgeschwindigkeit zu ermitteln. Diese ist dann durch einen Korrekturfaktor für die Länge auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit für den jeweiligen Abschnitt zu reduzieren. Jedoch berücksichtigt auch dieses Verfahren nicht die dynamischen Bewegungen der Fahrzeuge. So können Brems- und Beschleunigungszeiten sowie die Verringerung der Geschwindigkeiten bei Kurvenfahrten nicht betrachtet werden. Dies führt je nach Streckenprofil zu großen Abweichungen in den Fahrzeiten und

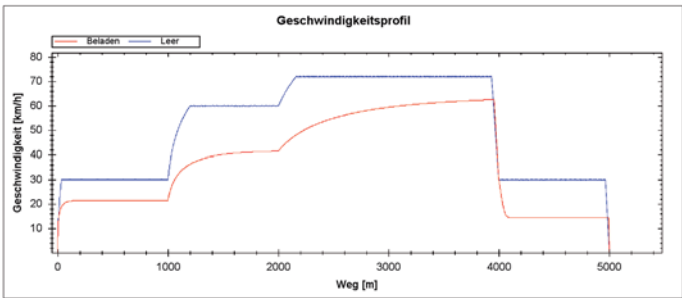
¹ Gleichzeitige Entwicklung eines Produktes durch Parallelisierung von Arbeitsabläufen

² vordefinierte Abfolge von Aktivitäten; so werden z.B. bei Freigaben von Modellen oder Zeichnungen die zuständigen Prüfer informiert. Diese können innerhalb der Systemumgebung die Daten dann elektronisch freigeben

³ So wird der Reifegrad eines Bauteils direkt ersichtlich. Ein Beispiel für einen typischen Status für ein Bauwerksmodell wäre „fertig gebaut“

⁴ Als Einchecken wird das Ablegen eines Datensatzes im PDM-System bezeichnet. Neben der reinen Dateiablage werden zusätzlich beschreibende Daten in einer Datenbank abgelegt und die Datei mit diesen Informationen vernetzt

⁵ Jupiter Tessellation (JT, auch Jupiter Mosaik) ist ein Datenformat für 3D-Daten, das seit 10/2009 offiziell von der ISO als 3D-Visualisierungsformat für Product Lifecycle Management akzeptiert wurde

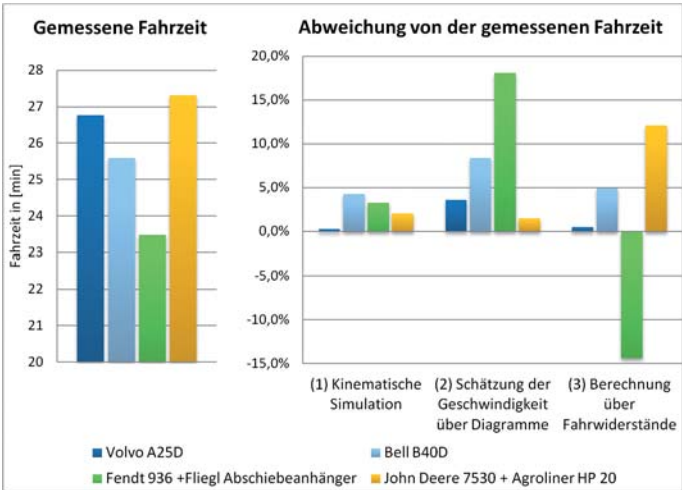


3-2: Beispiel für ein simuliertes Geschwindigkeitsprofil [Gün-09]

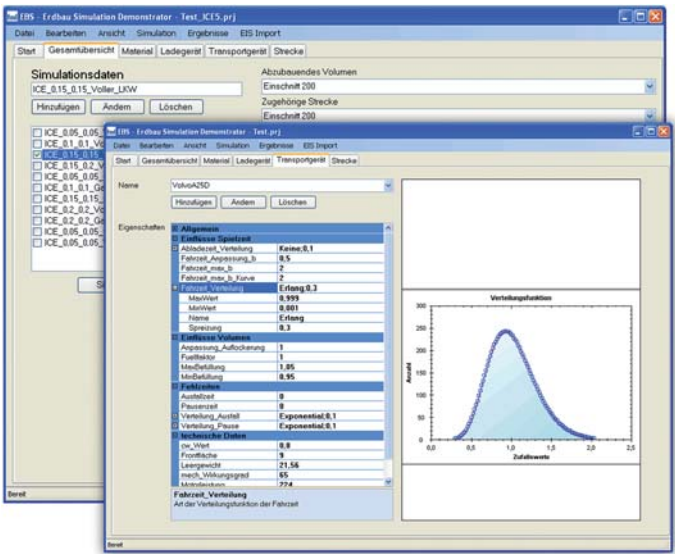
somit zu Ungenauigkeiten bei der Planung der Transportkapazitäten. Dabei sind die Transporte oft für einen Großteil der Erdbaukosten verantwortlich. Um die Berechnung der Fahrzeiten zu verbessern, kann die Technik der kinematischen Simulation verwendet werden. Diese bietet für jedes Fahrzeug die Möglichkeit, ein Geschwindigkeitsprofil je nach befahrener Strecke und aktuellem Beladungszustand zu erstellen. Dabei wird in sehr kleinen Zeitschritten die Beschleunigungsfähigkeit des Fahrzeugs in Abhängigkeit von der aktuellen Geschwindigkeit, den Fahrzeugeigenschaften und den Streckenparametern ermittelt. Ist die Antriebskraft im Vergleich zu den Fahrwiderständen zu klein, verringert sich die Geschwindigkeit in einem Zeitschritt, ansonsten wird sie erhöht. Grenzgeschwindigkeiten können sowohl für das Fahrzeug, als auch für die verschiedenen Streckenabschnitte angegeben werden, um z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen zu berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 3-2. Im leeren Zustand erreicht das Fahrzeug die Grenzgeschwindigkeiten der Streckenabschnitte, im beladenen Zustand ist nur das Verhältnis von Fahrzeugleistung zu den Fahrwiderständen ausschlaggebend.

Um die Leistungsfähigkeit der neuen Methode zur Ermittlung der Fahrzeiten zu untersuchen, wurden auf einer Teststrecke eines Praxispartners in Berlin Tests mit zwei verschiedenen Dumpfern und zwei Traktoren mit Anhängern durchgeführt. Die ca. 6 km lange Teststrecke beinhaltet verschiedene Abschnitte mit schlecht befestigter, sandiger Fahrbahn, einer gut instand gehaltenen Baustraße und einer Teilstrecke mit hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT). In 3-3 sind die Abweichungen gemessener Zeiten der Gesamtfahrdauer gegenüber der kinematischen Simulation (1) und bisherigen Verfahren (2)+(3) aufgetragen. Hieraus ist zu erkennen, dass die Simulationsergebnisse (1) bei allen vier Fahrzeugen weniger als fünf Prozent von der Realität abweichen, wohingegen die anderen Berechnungsverfahren (2)+(3) zum Teil erheblich streuen. [Gün-09]

Die oben beschriebenen Methoden der Kinematischen Simulation und der ereignisorientierten Ablaufsimulation wurden in einem Tool für die simulationsgestützte Leistungsberechnung im Erdbau zusammengefasst (siehe 3.4). In



3-3: Abweichung gesamte Fahrzeit [Gün-09]

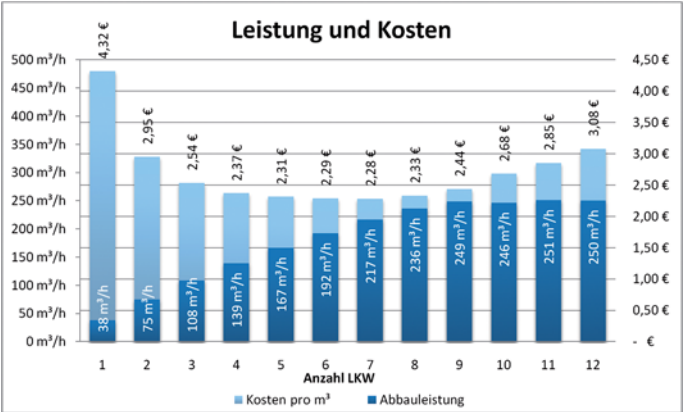


3-4: Tool für Simulation im Erdbau (EBS)

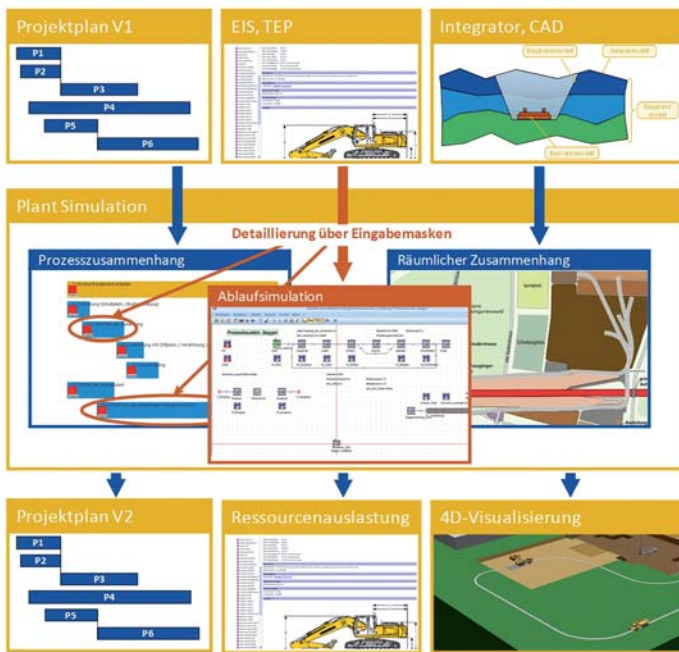
diesem sind die Geräteklassen Hydraulikbagger und die Transportfahrzeuge Lkw, Dumper sowie Traktor + Anhänger umgesetzt. Da bisherige Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Leistung im Erdbau normalerweise sehr aufwändig sind und aus diesem Grund nicht angewendet werden, sind Vereinfachung und Benutzerfreundlichkeit wichtige Aspekte des erstellten Simulationstools. Folglich können für jeden einzugebenden Wert bekannte Anhaltswerte und eine Erklärung in der Benutzeroberfläche angezeigt werden. Zur Verringerung der Dateneingaben müssen alle Geräte nur einmal erfasst werden, um für eine spätere Nutzung im Tool zur Verfügung zu stehen. Der Fokus des Tools liegt hier in der Kalkulation während der Angebotsphase sowie der direkten Arbeitsvorbereitung einer Erdbaustelle.

Abbildung 3-5 zeigt das Simulationsergebnis für die bereits durchgeführten Erdbautätigkeiten an einem Teilstück der ICE-Neubaustrecke von Nürnberg nach Ingolstadt. In diesem Abschnitt wurde der Abbaubetrieb mit einem Bagger und acht Lkw durchgeführt. Dem leitenden Planer dieser Baustelle zufolge decken sich die Ergebnisse des Simulationslaufes mit der Realität. Der Blick auf das Diagramm lässt erkennen, dass in der Simulation ein Abbaubetrieb mit sieben Fahrzeugen die kostengünstigste Variante gewesen wäre. Dafür hätte sich jedoch die Abbauleistung verringert.

Auf diese konkreten Fragen, bei wie vielen Transportfahrzeugen pro Ladegerät die wirtschaftlichste Variante vorliegt und ab wie vielen Fahrzeugen sich die Gesamtleistung nicht weiter erhöht, gibt das erstellte Simulationstool schnell und präzise Antworten. Somit erleichtert es die Planungsarbeit und erhöht die Planungssicherheit. Jedoch ist mit diesem Tool die 4D-Darstellung der Bauprozesse nicht möglich. Daher wurden im Forschungsverbund ForBAU die bereits



3-5: Ergebnisse der Berechnung des Simulationstools (Kostenangaben leicht abgeändert)



3-6: Schnittstellen Simulation

erprobten Simulationen erweitert und in einer kommerziellen Simulationsumgebung umgesetzt. Das Prinzip der kinematischen Simulation wird für alle relevanten Transportvorgänge auf dem Wegenetz der Baustelle angewendet, welches sich je nach Witterung und Projektverlauf ändern kann. Aus diesem Grund ist es notwendig, für jede Fahrt die Berechnung der Fahrzeit und damit der Teilgeschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten durchzuführen.

In der in Abbildung 3-6 dargestellten Konzeption der 4D-Ablaufsimulation wird ein Projektplan als Eingangswert der Simulation aus einem Projektmanagementtool importiert. Diese werden dann in einen ablauffähigen Prozesszusammenhang umgesetzt.

Eine weitere Datenquelle für die Simulation sind die 3D-CAD-Modelle. Im PDM-System werden aus den Modellen von Brücke, Trasse und Untergrund automatisch 3D-Modelle im JT-Format erzeugt (vgl. Abschnitt 3.2).

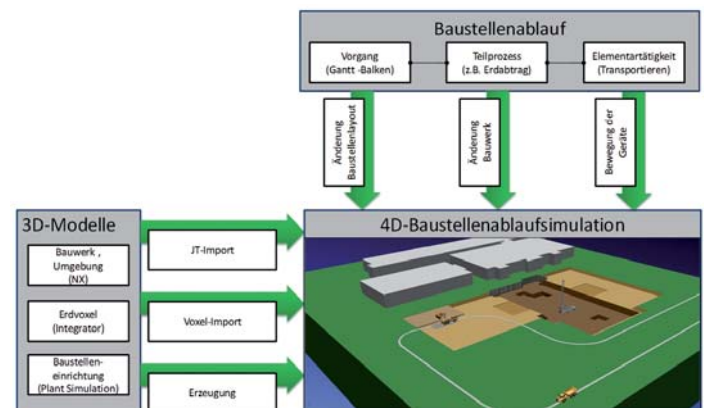
Um aus mehreren Bauteilen, welche einzeln zeitlich veränderlich sein müssen, zusammengesetzte Bauwerke in das Simulationssystem zu übernehmen, musste eine Schnittstelle geschaffen werden, die die Bauwerksstruktur im CAD analysiert und in das Simulationssystem übergibt. Mit Hilfe eines für das CAD-System NX entwickelten Plugins wird die Struktur mit der Lage der Einzelbauteile zum Ursprung der Gesamtbaustelle hin überprüft und in eine XML-Datei exportiert. In dieser XML-Datei sind die Informationen:

- Position (X,Y,Z)
- Rotationsmatrix
- Pfad zum Bauteil im JT-Format

für jedes Bauteil bis in die tiefste Unterbaugruppenebene aufgelistet. In der Simulationsumgebung wird dann die XML-Datei eingelesen und in eine hierarchische, objektorientierte Bauwerksstruktur überführt. Dabei wird der Ansatz gewählt, eine Baugruppe (z. B. komplettes Baustellenmodell) als Einzelobjekt zu visualisieren. Sobald die in der Baugruppe beinhalteten Bauteile (z. B. Baugrube und Bauwerk) unterschiedliche Fertigstellungsgrade haben, wird die Baugruppenrepräsentation ausgeblendet und die Einzelteile mit ihren jeweiligen Zuständen eingeblendet. Dadurch wird erreicht, dass der Grad der Fertigstellung auf Bauteilebene und auf beliebigen Baugruppenebenen dargestellt werden kann. Änderungen auf einer höheren Baugruppenebene werden auf die darunter liegenden Teile und Baugruppen übergeben. Erdmassen hingegen werden nicht in JT-Form importiert, da diese hierdurch nur als große Dämme oder Einschnitte abgebildet werden könnten. Um die Massenermittlung im Erdbau zu erleichtern, wurde an der TU München ein Tool geschaffen, mit dem

das Untergrund-, das Oberflächen- sowie das Bauwerksmodell über das Austauschformat LandXML eingelesen werden kann. In diesem Programm, dem so genannten Integrator, ist es dann möglich, die verschiedenen Modelle miteinander zu verschneiden und daraus das Volumen der jeweils abzutragenden und aufzubringenden Erdmassen zu bestimmen. Dabei werden die Massen in einer Voxelstruktur gespeichert, so dass zu jedem Volumen auch die entsprechende Position bekannt ist. [JiY-08] Für die Simulation werden die abzutragenden (cut) und die aufzutragenden (fill) Volumina als Voxel (quaderförmige Körper) über eine XML-Datei übergeben. Im Simulationstool werden aus Voxelgruppen Erdbauzonen erzeugt, in denen jeweils die cut- und fill-Voxel mit der übergebenen Position zusammengefasst sind. Für diese wird jeweils ein 3D-Objekt erzeugt, welches den Anfangszustand (alle cut-Voxel) und den Endzustand (alle fill-Voxel) der Erdbauzone markiert. Falls eine Zone gerade von einem Gerät bearbeitet wird, wird das 3D-Objekt in einzelne kleine Voxel umgewandelt, so dass der Erdbaufortschritt feingranular visualisiert werden kann. Zudem ist eine Schnittstelle zur am Lehrstuhl fml entwickelten Baumaschinendatenbank Equipment Information System (EIS) vorhanden, in der Maschinendaten von über 2000 Baugeräten mit ihren jeweiligen Eigenschaften abgelegt sind. [Gün-04] [Gün-08] Durch eine webbasierte Benutzeroberfläche und entsprechende Suchfunktionalitäten können dort mit wenig Aufwand geeignete Maschinen gefunden und deren spezifische Eigenschaften in das Simulationstool übertragen werden. Somit wird es möglich, beispielsweise auch Leihgeräte ohne großen Aufwand in die Ablaufplanung mit einzubeziehen. Die Importdaten werden anschließend in der Simulationssoftware miteinander verknüpft und eine ereignisgesteuerte Ablaufsimulation erzeugt. Ein erster Ablauf ohne Betrachtung der Detailvorgänge auf der Baustelle kann sofort gestartet werden. Hier werden die statistischen Schwankungen der Prozesse mit ihrer Auswirkung auf die Gesamtprozessdauer betrachtet. Sind Prozesse schwer vorherzusehen oder stark baustellenabhängig, können diese detailliert simuliert werden. Nun wird die Vorgangsdauer in Abhängigkeit der Spielzeiten der Beteiligten der Ressourcen und der gegebenen Baustellenrandbedingungen ermittelt. Als Ergebnis der Simulation entsteht ein verbesserter Projektplan, in dem auch fein granular aufgeteilte Vorgänge betrachtet werden können. Dieser Projektplan, in dem auch die benötigten Ressourcen und Materialien mit den jeweiligen Zeiten hinterlegt sind, kann anschließend in der Ausführungsphase als Basis für die Bedarfsermittlung und die Anlieferzeitpunkte verwendet werden. Dazu wird durch die detaillierte Simulation im 3D auch eine 4D-Baustellenvisualisierung erzeugt. Bisherige 4D-Ablaufvisualisierungen verknüpfen einen Projektplan mit dem 3D-Bauwerk. Durch den erhöhten Detaillierungsgrad in der Simulation wird dieses Konzept um weitere Visualisierungsaspekte erweitert.

Wie in 3-7 dargestellt, verfeinert die Simulation die Zeitinformationen für den Bauablauf um die Ebenen der Teilprozesse und der Elementartätigkeiten. Zudem können auch sehr detaillierte Erdbewegungen abgebildet werden (Voxelgröße ca. 1m³). Auf jeweils verschiedenen Detailebenen können somit die Änderungen im Baustellenlayout, am Bauwerk und die Bewegungen von



3-7: Daten-Visualisierung

Geräten visualisiert werden. Als beispielhaftes Ergebnis der 4D-Visualisierung ist der Erdabtrag auf der Demobaustelle Penzberg mit einem Bagger und zwei Dumpfern dargestellt.

Neben der 4D-Visualisierung können aus dem Simulationstool wichtige Daten für die Optimierung der Planung und für die Ausführungsphase gewonnen werden. U. a. können die Auslastungen der einzelnen Maschinen, z. B. Krane, Betonpumpen, Bagger, Straßenfertiger und Lkw bestimmt werden, um die Engpassgeräte zu bestimmen oder verschiedene Maschinenkombinationen im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit für die untersuchte Baustelle miteinander zu vergleichen. Die Engpassanalyse umfasst aber nicht nur Geräte, sondern auch statische Baustelleneinrichtungselemente, hier z. B. die Auslastung von Lagerflächen oder das Verkehrsaufkommen auf Baustraßen sowie auf der Baustellenzufahrt. Des Weiteren werden durch die feingranulare Betrachtung der Bauprozesse auch die Einbaupunkte der benötigten Materialien bestimmt. Daraus lassen sich die Anlieferstrategien für die einzelnen Materialien ableiten und somit eine optimale Materialversorgung bei geringem Flächenbedarf erreichen. Die gewonnenen zeitlichen Daten können dann in einen Sollbauzeitenplan mit der Verknüpfung zu den benötigten Ressourcen, den benötigten Materialien und den aktuellen Bauzuständen exportiert werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die 4D-Simulationsdaten als Film zu exportieren und somit allen Baubeteiligten zur Verfügung zu stellen. Dadurch werden die Abläufe für alle sichtbar und nachvollziehbar. Durch die bessere Kommunikation sinken daher Fehler aus einem unterschiedlichen Verständnis der Vorgänge. Die große Anzahl an qualitativ hochwertigen Solldaten schafft damit eine gute Ausgangsbasis für den Soll-Ist-Vergleich auf der Baustelle.

3.4 Bauen

Nachdem die Modelle und Zeichnungen freigegeben und die Arbeitsvorbereitung abgeschlossen ist, kann mit dem Bau von bestimmten Gewerken entsprechend des aus der Simulation errechneten Bauzeitenplans begonnen werden. Befindet sich ein Bauteil „im Bau“, so ändert der Bauleiter oder der Polier auch den Status des entsprechenden Datencontainers im PDM-System auf „im Bau“. Alle Projektbeteiligten sind damit sofort über den Baufortschritt informiert. Wächst also die reale Baustelle, so schreitet auch die virtuelle Baustelle im Gleichschritt voran. Gleichzeitig ist es möglich, diese Statusänderungen, die auf Ist-Daten während der Bauphase oder der Wartung basieren, auch automatisiert erfolgen zu lassen.

Mit Hilfe eines Mobiltelefons, das mit einem RFID⁷-Reader ausgestattet ist, werden gekennzeichnete Teile auf der Baustelle ausgelesen. Der Inhalt der Labels entspricht der ID des „virtuellen“ Bauteils im PDM-System. Mit Hilfe einer JavaME-Software am Handy werden nun Bauteilinformationen wie Mängel, Statusinformationen („geliefert“, „fertig gebaut“), Bilder oder Sprachmemos festgehalten. Diese Daten werden gebündelt und via UMTS/GPRS an das PDM-System versendet – und stehen damit allen Projektbeteiligten in Echtzeit zur Verfügung. Das PDM-System wird so zu einer durchgängigen Projektinformationsplattform für die gesamte Zeit der Bauplanung, -abwicklung und Wartung eines Bauwerks. Alle weiteren Ist-Daten von der Baustelle werden im digitalen Bautagebuch mit Hilfe der Softwarelösung sfirion journal dokumentiert. Im Modul sfirion cockpit kann ein Soll-Ist-Abgleich hinsichtlich Termine, Kosten oder Mengen erfolgen. Die Vergleichsdatenbasis aus Soll-Projektplan sowie Tagesberichten stammen versionssicher und aktuell aus der PDM-Umgebung. Soll eine geometrische Kontrolle des Bauwerks erfolgen, so kann ein gewisser 3D-Planstand mit einem auf der Baustelle erstellten, aktuellen Foto verglichen werden. Mit Hilfe der Software unifeye und einem markerbasierten Augmented Reality (AR)-Verfahren können 3D-Modell und Bild überlagert und abgeglichen werden (siehe Abbildung 3-8). Wird nicht nur ein grober Abgleich zwischen Soll- und Ist-Geometrie benötigt, so werden die 3D-Modelle mit den Daten aus dem Laserscanning verglichen. Durch die aktuelle und einheitliche Informationsbasis wird so ein umfassender Soll-Ist-Abgleich hinsichtlich Geometrie,

⁷ Identifizierung von mit entsprechenden Chips gekennzeichneten Objekten durch elektromagnetischen Wellen



3-8: Geometrischer Soll-Ist-Abgleich mit Hilfe von AR

Mengen, Terminen und Kosten möglich. Die Möglichkeiten der Bauprojektsteuerung steigen damit um ein Vielfaches.

4. Fazit

Die im Rahmen des Forschungsverbundes ForBAU erarbeiteten Konzepte auf Basis aktueller und qualitativ hochwertiger Daten schaffen mehr Transparenz in der Bauprojektentwicklung. Innovative IT-Methoden wie die Ablaufsimulation ermöglichen eine fundiertere Planung der Bauabläufe. Ein auf bauspezifische Bedürfnisse maßgeschneidertes PDM-System bewirkt eine saubere Dokumentation und ein effektives Informationsmanagement.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die entwickelten Methoden große Einsparpotenziale genutzt werden können, indem mögliche Engpässe und Fehler bereits frühzeitig erkannt werden.

Für eine Etablierung der Konzepte bedarf es jedoch mehr als nur der Technik – denn letztlich müssen Bauherr oder Projektsteuerer von dieser neuen Art der Projektentwicklung überzeugt sein und diese aktiv fordern. Zusätzlich müssen rechtliche Rahmenbedingungen bezüglich der Zusammenarbeit in Bauprojekten grundlegend überdacht werden, damit aus der Vision der virtuellen Baustelle ein realer Erfolg werden kann.

5. Literaturverzeichnis

- [Bau-06] Bauer, H.: Baubetrieb Berlin: Springer 2006
- [Bor-09] Borrmann, A.; Schorr, M.; Obergriesser, M. et al.: Using Product Data Management Systems for Civil Engineering Projects - Potentials and Obstacles in 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, Austin, TX, USA, 2009
- [Gir-03] Girmscheid, G.: Leistungsermittlung für Baumaschinen und Bauprozesse Berlin u.a.: Springer 2003
- [Gün-04] Günthner, W. A.; Tölle, S.: EIS - Ein Informationssystem für Baumaschinen in Schriftreihe der Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen Fachtagung Baumaschinentechnik: 2004, pp. 27-31.
- [Gün-08] Günthner, W. A.; Kessler, S.; Frenz, T. et al.: Einsatz einer Baumaschinendatenbank (EIS) bei der Bayerischen BauAkademie (2008) (12), 736-738
- [Gün-09] Günthner, W. A.; Kessler, S.; Frenz, T.; Wimmer, J.: Transportlogistikplanung im Erdbau Abschlussbericht 2009
- [Hüs-92] Hüster, F.: Leistungsberechnung der Baumaschinen, 2nd ed. Düsseldorf: Werner 1992
- [itm05] itm - Lehrstuhl für Informationstechnik im Maschinenwesen, T. M.: PDM und Engineering-Informationssysteme, Vorlesungsskript, München, 2005, p. 15
- [JiY-08] Ji, Y.; Lukas, K.; Obergrießer, M.; Borrmann, A.: Entwicklung integrierter 3D-Trassenproduktmodelle für die Bauablaufsimulation in Tagungsband des 20. Forum Bauinformatik, Dresden, 2008
- [JiY-09] Ji, Y.; Borrmann, A.; Rank, E.; Wimmer, J.: An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes in Proc. of the 26th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction, Istanbul, Turkey, 2009

Der Forschungsverbund „Virtuelle Baustelle“ (ForBAU) wird von der Bayerischen Forschungsstiftung über drei Jahre bis Ende 2010 gefördert. ■