

Schriftenreihe Bauwirtschaft

III Tagungen und Berichte 4

Herausgegeben vom Institut für Bauwirtschaft an der Universität Kassel

kassel
university



press

1. IBW-Workshop
Simulation in der Bauwirtschaft
13. September 2007 an der Universität Kassel

Prof. Dr.-Ing. Volkard Franz (Hrsg.)

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar

ISBN 978-3-89958-320-5
URN: urn:nbn:de:0002-3201

© 2007, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Umschlaggestaltung: Melchior von Wallenberg, Nürnberg
Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel
Printed in Germany

1. IBW-Workshop

Simulation in der Bauwirtschaft

13. September 2007
an der Universität Kassel

Projekt

Analyse

Modellierung

Validierung

Simulation

Optimierung

Lösung

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Vorwort des Herausgebers

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Universität Kassel, Institut für Bauwirtschaft

Fachgebiet Bauorganisation und Bauverfahren

Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel

Zur Analysierung und Optimierung von Prozessen hat sich die Simulation in der stationären Industrie seit vielen Jahren erfolgreich bewährt. Auch im Bauwesen gibt es seit Jahren erste Ansätze zur Simulation von Produktionsabläufen. Einige Forschungsarbeiten hierzu wurden vornehmlich in den USA, in Kanada, Frankreich und Deutschland veröffentlicht.

Auch im Fachgebiet Bauorganisation und Bauverfahren des Instituts für Bauwirtschaft an der Universität Kassel ist die Simulation seit geraumer Zeit ein Forschungsschwerpunkt. Anfänglich standen netzbasierte Simulationstools auf Basis der Petri-Netze im Fokus der Entwicklung. Dabei wurden verschiedene Tools und unter anderem Anwendungen aus dem Bereich der Betonstahlverarbeitung, Frischbetonlogistik, Fertigteilmontage, dem Mauerwerksbau, der Baustoffproduktion und der Planlaufsteuerung bei planungsbegleitender Ausführung untersucht. Diese Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass Simulationsentwicklungsumgebungen auf Basis von erweiterten Petri-Netzen gut für die Modellierung geeignet sind, jedoch wegen der mangelnden Visualisierung der Simulation die Akzeptanz in der Praxis zu gering ist.

Daher wurden in den vergangenen Jahren bausteinorientierte Simulationssysteme untersucht, wobei sich auch hier der hohe Aufwand zur Modellierung und Visualisierung bauspezifischer Abläufe als problematisch für den Einsatz in der Praxis herausgestellt hat. Eine Darstellung der Bewegungsabläufe von Baumaschinen ist nur eingeschränkt möglich, auch ist der Prozess der Wegfindung bei situativen Veränderungen nur sehr aufwändig darstellbar.

Um den Aufwand zur Parametrisierung eines Modells zu reduzieren und um eine bessere Akzeptanz in der Praxis zu erreichen, wurde exemplarisch eine Petri-Netz-basierte Simulationsentwicklungsumgebung (PACE) mit einer CAD-Planungssoftware (AutoCAD) verknüpft. Erforderlich war die Implementierung eines simulationsrelevanten Produktmodells, das die Daten aus der CAD-Basis für die Anwendung in der Simulationsumgebung zur Verfügung stellt. Dieses Forschungsvorhaben, das aus Mitteln der DFG unterstützt wurde, beschränkte sich beispielhaft auf Anwendungen im Erdbau, ist aber im Prinzip auch auf Hochbaumaßnahmen übertragbar.

Neben diesen Entwicklungen beschäftigt sich das Fachgebiet nunmehr auch mit der Multiagentensimulation in der Hoffnung, dass mit diesem Konzept eine flexib-

le, praxisnahe Modellierung von Arbeitsabläufen verteilt agierender Arbeitskräfte und Geräte in einer virtuellen Baustellenumgebung möglich ist. Erste Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass das Agentenkonzept sich sehr gut zur Darstellung verzahnter Prozesse unterschiedlicher Gewerke eignet und eine anschauliche Visualisierung ermöglicht. Zum praxistauglichen Einsatz ist jedoch die Entwicklung von multifunktionsfähigen Agentenbausteinen erforderlich, um dann durch einfache dialogorientierte Eingaben der erforderlichen Parameter die individuellen Verhältnisse einer Baustelle abbilden zu können. Ferner ist auch hier eine Verknüpfung zur CAD sinnvoll, um die projektrelevanten Daten aus der Planung in die Simulation adaptieren zu können.

Auch an anderen Universitäten in Deutschland und in der Baupraxis gibt es derzeit Forschungsansätze zu Themen der Simulation von Prozessen zur Optimierung der Abläufe im Bauwesen. Dieser Workshop soll erstmals die Forschergruppen zusammenführen, die sich mit diesen Themen beschäftigen und dabei die unterschiedlichen Arbeiten auf dem Gebiet der Simulation in der Bauwirtschaft aufzeigen in der Hoffnung, dass sich auf Basis des gegenseitigen Verstehens neue gemeinsame Forschungsaktivitäten ergeben. Geplant ist die Bildung einer Plattform zur Vorstellung der verschiedenen Arbeiten und zur Diskussion aller Wissenschaftler und Praktiker, die sich in Forschung, Lehre und Praxis mit dem Thema der Modellbildung und Simulation von Prozessen in Produktion und Logistik im Bauwesen beschäftigen.

Der Ausrichter dieses Workshops, das Institut für Bauwirtschaft (IBW), ist eine interdisziplinäre wissenschaftliche Einrichtung der Fachbereiche Architektur/Stadt- und Landschaftsplanung und Bauingenieurwesen der Universität Kassel. Das IBW bündelt alle Baumanagement- und baubetrieblichen sowie bauökonomischen und fertigungstechnischen Kompetenzen der Universität in Forschung und Lehre und bietet sich darüber hinaus an als Kompetenzzentrum für die regionale und überregionale Bauwirtschaft.

Kassel, im September 2007

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Inhaltsübersicht

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Vorwort des Herausgebers..... VII

Dipl.-Ing. Dirk Steinhauer

Simulation im Schiffbau und Kooperation mit der Universität Weimar..... 1

Prof. Dr.-Ing. Markus König, Dipl.-Ing. Ulrike Beißert, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc.

Ereignis-diskrete Simulation von Trockenbauarbeiten -
Konzept, Implementierung und Anwendung..... 15

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Huhnt, Dipl.-Ing. Felix Enge

Simulationsmodelle für die Ausführung von Bauleistungen..... 29

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gert Zülch, Dipl.-Ing. Mikko Börkircher

Simulationsbasierte Analyse von Störungen im Baubetrieb 51

Dipl.-Ing. Martin Kugler, Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Entwurf eines multiagentenbasierten Referenzmodells für Simulationen
im Hochbau 69

*Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko, Dipl.-Ing. Nils Hinrichs, Dipl.-Ing. Oliver Mehr,
Dipl.-Ing. Sebastian Maffini*

Dokumentation und Simulation von Bauprozessen mithilfe von
Bildverarbeitungssystemen 85

Dipl.-Ing. Jörg Weber

Automatische Generierung von Simulationsmodellen auf Basis
von CAD-Daten 101

Dipl.-Ing. Christina Barking e Ferrao

3D und 4D-Modelle im Bereich Erd- und Straßenbau 113

Dipl.-Ing. Christian Danz, Dipl.-Ing Stefan Voß

Harmonisierung von Immobiliendaten in einem "Projektraum Immobilie" für
Facility Management-Simulationen..... 125

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Prozessoptimierte vernetzt-kooperative Ingenieurplanung 149

Prof. Dr.-Ing. Raimar J. Scherer

Eine objekt-orientierte, technische Simulationsplattform für Baubetriebs-
abläufe - Anforderungen - Architektur - Prototyp für die Lehre 163

Dipl.-Ing. Dirk Steinhauer

**Simulation im Schiffbau und
Kooperation mit der Bauhaus-Universität Weimar**

Dipl.-Ing. Dirk Steinhauer

Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co.KG

Abteilung Entwicklung Fertigungstechnologie

Batteriestr. 52, 24939 Flensburg

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	3
1	Motivation.....	3
2	Der Simulationsbausteinkasten für den Schiffbau.....	4
3	Die maritime Kooperationsgemeinschaft SimCoMar	6
4	Einsatz der Simulation bei der FSG	7
5	Simulation von Ausbauprozessen mit der Universität Weimar	9
6	Ausblick.....	12
	Literatur	12

Kurzfassung

Nachdem die Simulation bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (FSG) erfolgreich in der Layout- und Materialflussplanung eingesetzt wurde, ist das Einsatzgebiet der Simulation auf den Bereich der Fertigungsplanung ausgeweitet worden. So werden heute Schiffe vor dem realem Fertigungsbeginn und fertigungsbegleitend in der Simulation gefertigt, was rechtzeitiges Bewerten und Verbessern der Pläne ermöglicht. Auf diese Weise konnten große Produktivitätssteigerungen realisiert werden, und gleichzeitig wurde die Planungssicherheit deutlich erhöht.

Nachdem die Simulation der stahlbaulichen Fertigung inzwischen etabliert ist, liegt ein Schwerpunkt weiterer Entwicklungen in der Modellierung von Abläufen bei der Ausrüstung und beim Innenausbau von Schiffen. Dabei sind große Synergien mit dem Bauwesen sichtbar geworden, so dass mit zwei Professuren der Bauhaus-Universität Weimar die Kooperationsgemeinschaft SIMoFIT gegründet wurde, deren Ziel die gemeinsame Entwicklung eines interdisziplinären Konzeptes zur Simulation von Ausbauprozessen in Schiffbau und Bauwesen ist.

1 Motivation

Besonders im Schiffbau mit dem umfangreichen Produkt Schiff auf der einen Seite und der Verkettung verschiedenster Verfahren zu seiner Fertigung auf der anderen Seite ergibt sich ein hochkomplexes Wirkungsgefüge, in welchem die Potentiale nur unter Berücksichtigung der Dynamik vollständig erkannt und ausgeschöpft werden können. Deshalb kommt der Simulation von Produktion und Logistik in dieser so besonderen Branche eine zunehmende Bedeutung zu. Der Fokus der Anwendung liegt in der schiffbaulichen Unikatfertigung im Gegensatz zur Serienfertigung allerdings weniger auf der Fabrikplanung als auf der Unterstützung der Fertigungsplanung. Der Produktwechsel zu einem neuen Schiffstyp birgt viele Risiken, von denen eine große Zahl mit Hilfe der Simulation ausgeschaltet werden können. Auch innerhalb einer Schiffsserie entsteht aufgrund der enormen Teilevielfalt jeden Tag eine neue Situation, welche nur in der Simulation schnell und richtig bewertet werden kann.

Das Ziel der Simulationsaktivitäten der FSG ist ein durchgehendes Modell der gesamten Werft als Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung in den verschiedenen Phasen der Planung. Zur Realisierung werden vom Simulationsteam zur Zeit Projekte in verschiedenen Fertigungsbereichen zum Ergänzen des Simulationsmodells und zum anschließenden Implementieren der Simulation in der Fertigungsplanung durchgeführt. Aktuell bearbeitete Fertigungsbereiche sind Schiffsendmontage, Modulfertigung, Teilefertigung, Logistik und Schiffsausrüstung bzw. -einrichtung.

2 Der Simulationsbausteinkasten für den Schiffbau

Um die Modellierung und Pflege der komplexen und umfangreichen Simulationsmodelle zu erleichtern, wurde Anfang des Jahres 2000 zur Software eM-Plant von Siemens/UGS gewechselt, deren objektorientierter Ansatz die Modularisierung von Simulationsmodellen ermöglicht. Allgemeine und schiffbauspezifische Simulationsfunktionalitäten wurden wiederverwendbar programmiert, so dass der universell einsetzbare Simulationsbausteinkasten für den Schiffbau STS (Simulation Toolkit Shipbuilding) entstand. Damit kann die Modellierung der schiffbaulichen Fertigung sehr stark beschleunigt und vereinfacht werden. Mittlerweile wird dieser Bausteinkasten in einer internationalen Kooperation mit Werften, Universitäten und einem maritimen Forschungszentrum weiterentwickelt und werftübergreifend genutzt. Die Struktur des Simulationsbausteinkastens ist in Bild 2.1 dargestellt.

Der Simulationsbausteinkasten für den Schiffbau umfasst zur Zeit mehr als 60 umfangreichere Bausteine, eine große Zahl von Hilfsobjekten und beweglichen Elementen sowie ca. 70 vordefinierte Programmcodebausteine. Die Bereiche der stahlschiffbaulichen Fertigung und Montage sind dabei nahezu vollständig abgedeckt, im Bereich der Schiffsausrüstung mit Anlagen und Systemen sind im vom BMBF geförderten Vorhaben SIMBA Bausteine entwickelt worden (*vergleiche Wagner, L., Steinhauer, D., Hübler, M. 2005*).

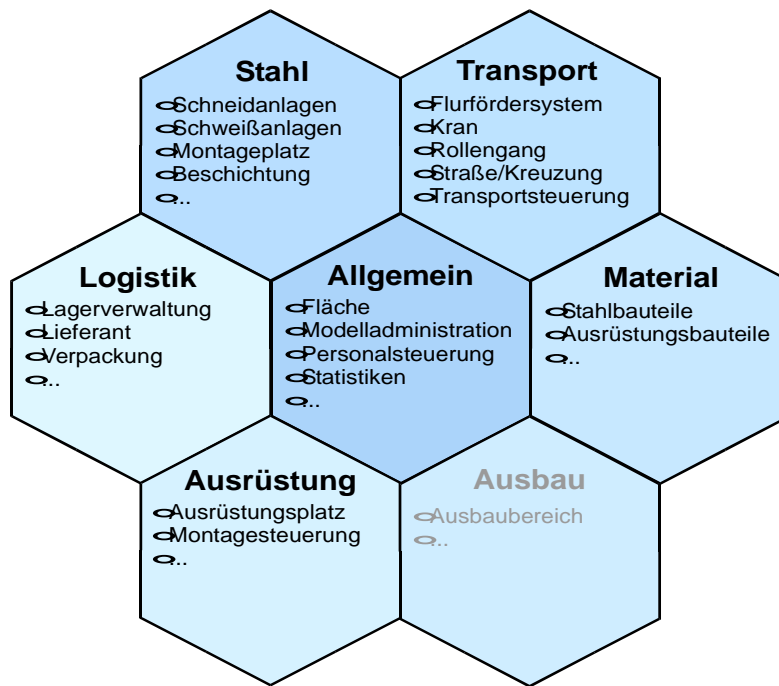


Bild 2.1: Struktur der Simulationsbausteine im STS

Ein Beispiel für einen Simulationsbaustein ist der *Kran*, mit dessen Hilfe Krantransporte unterschiedlicher Art mit wenig Aufwand modelliert werden können. Der Baustein repräsentiert ein Kransystem, welches unterschiedliche Ausprägungen annehmen kann (Bild 2.2): Brückenkran mit bis zu drei übereinander angeordneten Kranbahnen und einer beliebigen Anzahl von Brücken, Portalkran mit einer beliebigen Anzahl von Portalen, ortsfester oder schienengebundener Schwenkkran oder Baukran.

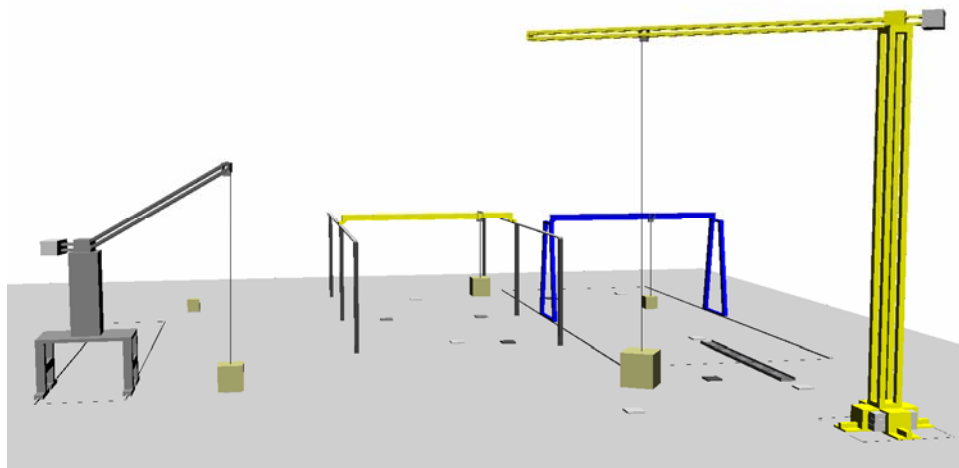


Bild 2.2: Der Simulationsbaustein Kran in verschiedenen Ausprägungen

Der simulierte Krantransport kann mit diesem Baustein sehr einfach durch Angabe des Zielobjektes durchgeführt werden. Sollte der Krantransport allerdings besonders spezifiziert werden müssen, so steht eine Reihe von Parametern zur Verfügung, mit denen z. B. Drehungen ausgeführt oder Brücken zum Transport von schweren Teilen gekoppelt werden können.

Ein anderes Beispiel für einen Simulationsbaustein ist die *Montagesteuerung*, welche den Kern vieler Simulationsmodelle mit hohem Montageanteil bildet. Der Baustein Montagesteuerung steuert parallele Montageabläufe z. B. in einer Station oder einem räumlichen Bereich an Bord unter Berücksichtigung aller einzubauenden Bauwerke und Bauteile sowie der individuellen Montagestrategien. In diesen Montagestrategien sind für die zu montierenden Bauteiltypen die benötigten Montagestufen und -schritte, das zur Montage erforderliche Personal und die zur Berechnung der Prozesszeit benötigten Parameter tabellarisch hinterlegt. Der Großteil der Montageaufgaben kann durch eine geringe Anzahl von vordefinierten und standardisierten Montagestrategien hinreichend genau abgebildet werden, alle übrigen werden durch individuelle Strategien angenähert (vergleiche Hertel, E., Nienhuis, U., Steinhauer, D. 2005).

Viele Bereiche der schiffbaulichen Fertigung lassen sich nur dreidimensional sinnvoll visualisieren. Daher ist eine entsprechende Animation der Simulationsbausteine erforderlich. Um die eigentliche Modellierung aber nicht damit zu belasten, wird diese dreidimensionale Animation aber optional ohne Mehraufwand zugeschaltet. Dafür sind den Simulationsbausteinen des STS notwendige Grafikinformatoren und Visualisierungsfunktionen hinterlegt. Mit dem Baustein *Modellgenerator3D* kann aus einem zweidimensionalen Modell die dreidimensionale Animation automatisch generiert werden.

3 Die maritime Kooperationsgemeinschaft SimCoMar

Um die Entwicklungsgeschwindigkeit im Bereich der Simulation zu erhöhen, arbeitet die FSG intensiv mit anderen Werften, Universitäten und Forschungszentren zusammen. Nur auf diese Weise ist es gelungen, ein leistungsstarkes Team aufzustellen, welches auch komplexere Aufgabenstellung in kurzer Zeit bearbeiten kann.

Im Jahre 2002 wurde eine Kooperation mit den Nordseewerken in Emden begonnen, in welcher der Bausteinkasten STS gemeinsam weiterentwickelt und werftübergreifend genutzt wird. Damit entstand die Keimzelle für die Kooperationsgemeinschaft **SimCoMar** (Simulation Cooperation in the Maritime Industries, www.simcomar.com), zu der zur Zeit auch die TU Hamburg-Harburg, die TU-Delft (NL), das Center of Maritime Technologies e.V. und die Universität Liège (B) gehören. Ziel der Kooperation ist die gemeinsame Entwicklung und Anwendung der Simulation in Produktion und Logistik des Schiffbaus (Bild 3.1).

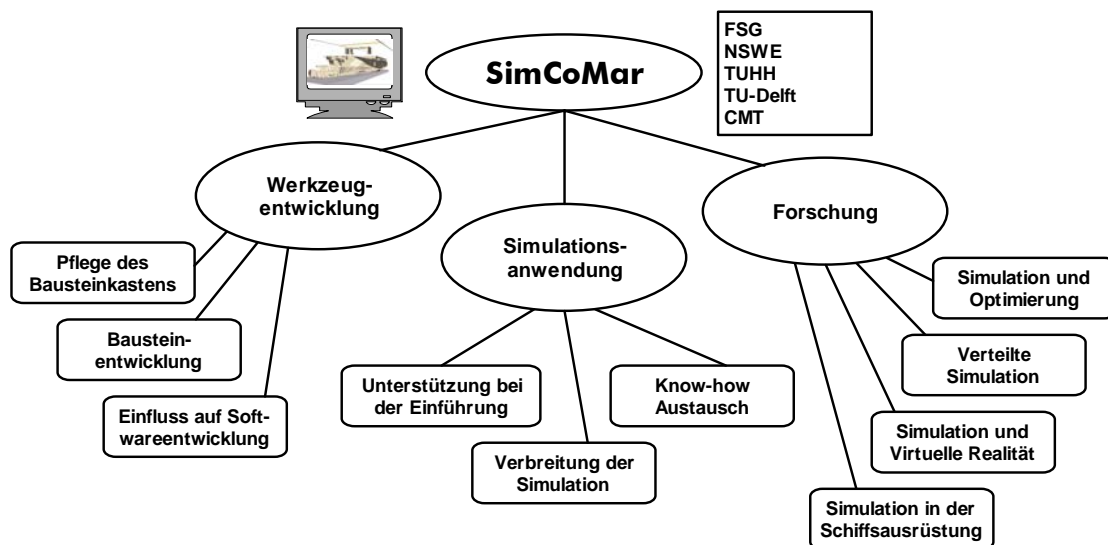


Bild 3.1: Zielsetzung und Aktivitäten von SimCoMar

Neben Ausbau und Anwendung des Bausteinkastens wird auch gegenseitige Unterstützung bei Simulationsprojekten geleistet und gemeinsame Forschung im Umfeld der Simulation betrieben. SimCoMar ist als offene Kooperationsgemeinschaft ausgelegt, in welche weitere interessierte und engagierte Partner aufgenommen werden können.

4 Einsatz der Simulation bei der FSG

Seit mehr als zehn Jahren beschäftigt sich die Abteilung Entwicklung Fertigungstechnologie der FSG intensiv mit der Simulation in Produktion und Logistik. Ausgangspunkt war ein Projekt zur umfangreichen Neugestaltung eines Fertigungsreiches, in dem die Layout-Varianten mit Hilfe der Simulation bewertet und justiert worden sind. Beim weiteren Einsatz der Simulation rückte aber schnell die Ferti-

gungsplanung in den Mittelpunkt des Interesses. Das anstehende Produktionsprogramm wird nun lange vor Produktionsstart sowie anschließend produktionsbegleitend unter Berücksichtigung des aktuellen Fertigungsstatus im Rechner gefertigt und montiert. Aus dem Ergebnissen werden Engpässe und Einsparungspotentiale ermittelt, welche anschließend in weiteren Simulationsläufen überwunden bzw. genutzt werden. Zudem wird die Planungssicherheit deutlich erhöht, weil die Durchführbarkeit des Planes mit Hilfe der Simulation sichergestellt wird.

Bei der FSG wurde eine Reihe von Simulationsanwendungen für die Fertigungsplanung entwickelt und implementiert (Steinhauer, D. 2006). Eine Übersicht ist in Bild 4.1 dargestellt.

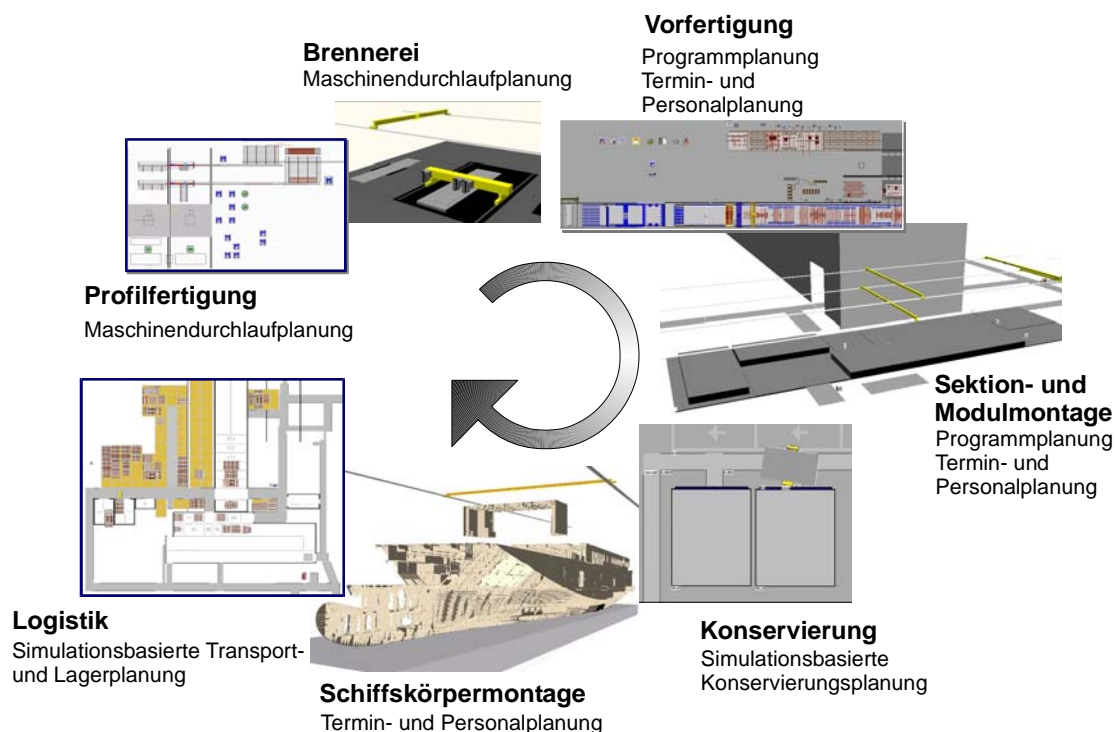


Bild 4.1: Simulationswerkzeuge in der Fertigungsplanung der FSG

Auch logistische Fragestellung außerhalb der direkten Fertigungsbereiche sind immer wieder Gegenstand von Simulationsstudien. Zur Zeit ist zum Beispiel der Produkttypwechsel zu einer Passagierfähre vollzogen worden., deren Produktion unter anderem das Beherrschen eines deutlichgrößeren Materialpaketes voraussetzt. Sämtliche Passagierbereiche werden bei der FSG ausgebaut und erfordern ein gesondertes Logistikkonzept, um das erforderliche Material rechtzeitig und in einer sinnvollen Menge an Bord montieren zu können. Dieses Logistikkonzept

wurde mit Simulationsunterstützung entwickelt (Bild 4.2) und beschreibt die erforderlichen Lagerkapazitäten, die Transportmittel sowie die Organisation der Transporte.

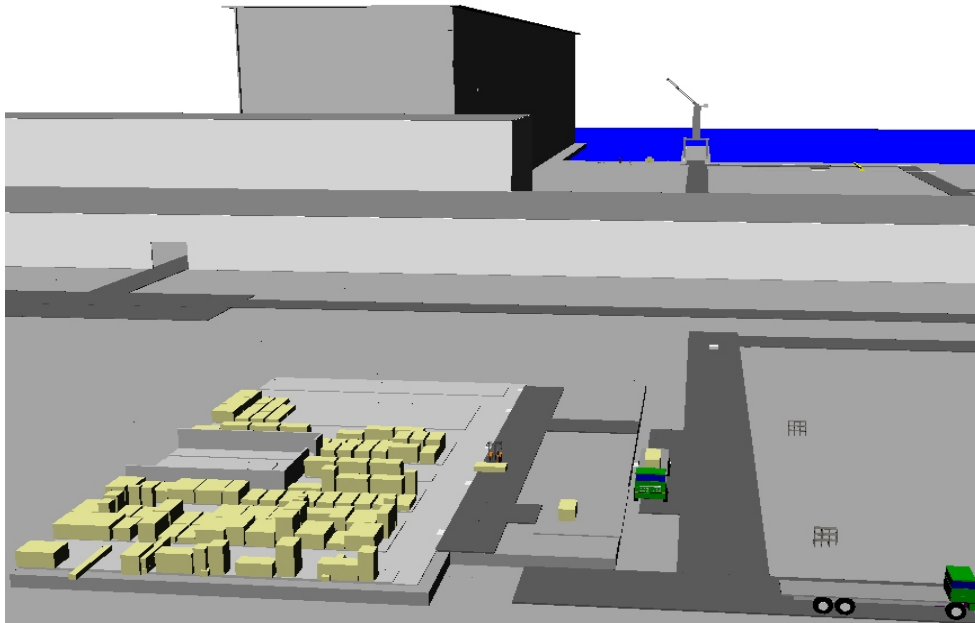


Bild 4.2: Simulationsmodell zum Logistikkonzept für den Bau einer Passagierfähre

5 Simulation von Ausbauprozessen mit der Universität Weimar

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem Simulationseinsatz in der Fertigungsplanung entwickelte sich bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft der Anspruch, ein ganzheitliches Simulationsmodell für den Schiffbau aufstellen zu können. Die Entwicklung neuer Bausteine konzentriert sich nun auf die Erschließung der Schiffsausrüstung bzw. des Innenausbaus von Passagierbereichen. Erste Konzepte zur Beschreibung und Planung des Ausbaus von Passagierkabinen wurden entwickelt und prototypisch getestet. Pilotstudien zeigen das große Potential in der Anwendung des Simulationsmodells. Gerade in der bedarfsgerechten Einsatzplanung von Mitarbeitern konnte ein erhebliches Verbesserungspotential nachgewiesen werden. Wie Bild 5.1 zeigt, können zusätzlich zum Baufortschritt die Aufgaben der Mitarbeiter geplant und koordiniert werden.

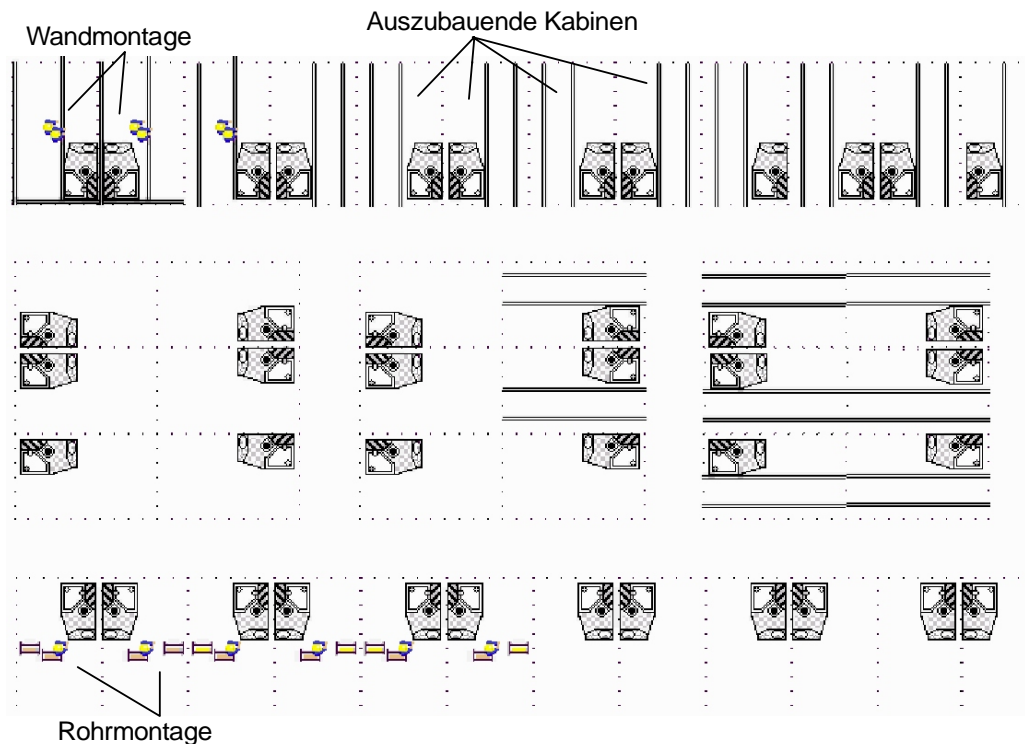


Bild 5.1: Simulationsstudie über den Ausbau eines Kabinenbereiches einer Passagierfähre

Die Herstellung von Deckshäusern und Passagierbereichen erfordert verstärkt Erfahrungen aus anderen Ingenieurdisziplinen. Gerade die Koordination der einzelnen Fachbereiche unterschiedlicher Firmen stellt hohe Anforderungen an die Planer und somit auch an das zu entwickelnde Simulationsmodell. Als Ergänzung der eigenen Erfahrungen und zur interdisziplinären Weiterentwicklung des STS wurde durch die Flensburger Schiffbau-Gesellschaft und die Professuren „Baubetrieb und Bauverfahren“ und „Theoretische Methoden des Projektmanagements“ der Bauhaus Universität Weimar die interdisziplinäre Kooperation SIMoFIT (Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering – www.simofit.com) initiiert. Das Ziel innerhalb dieser Kooperation ist die gemeinsame Entwicklung eines interdisziplinären Konzeptes zur Simulation von Ausbauprozessen in Schiffbau und Bauwesen.

In Workshops werden grundsätzliche Fragen zur Simulation und Modellfindung diskutiert sowie Simulationsmodelle entworfen und durch das interdisziplinäre Expertenteam bewertet. Durch diesen fachlichen Austausch zwischen unterschiedlichen Ingenieurbranchen konnten schon große Synergieeffekte erzielt werden. Auf der Grundlage des vorhandenen Bausteinkastens für den Schiffbau konnten be-

reits erste innovative Lösungsansätze für Ausbauprozesse in Schiffbau und Bauwesen entwickelt werden. Die freie Formulierung von raumbildenden „Bauleistungen“, wie beispielsweise der Montage von Trockenbauwänden, steht dabei in der ersten Phase im Fokus der Forschung und Entwicklung.

Bei der Weiterentwicklung der Modellierungsmethodik für Ausbauprozesse wird das in den STS integrierte Montagesteuerungskonzept adaptiert und erweitert. Um jedoch die Vielzahl der auftretenden Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Gewerken im Innenausbau noch flexibler beschreiben und somit in der Planung berücksichtigen zu können, wurde ein Ansatz auf Basis von sogenannten Constraints in die vorhandene *Montagesteuerung* integriert (vergleiche König, M., Beißert, U., Steinhauer, D. and Bargstädt, H.-J. 2007). Mit Hilfe von Constraints werden die Abhängigkeiten zwischen Arbeitsaufgaben und anderen Objekten, wie beispielsweise Ressourcen, freien Arbeitsbereichen oder übrigen Arbeitsaufgaben beschrieben. Der Ablauf der Produktion wird anschließend durch die Simulation ermittelt. Durch Definition weiterer Constraints ist eine einfache Anpassung des Modells an sich ändernde Umgebungsbedingungen möglich, wie beispielsweise die verfügbare Fläche, neue Strategien, aktualisierte zeitliche Vorgaben oder Ist-Zustände.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Simulation von Innenausbauprozessen ist die Berücksichtigung des vorhandenen und sich dynamisch verändernden Produktionsbereiches. Als Produktionsbereiche werden in diesem Zusammenhang beispielsweise Feuerzonen bei Schiffen oder Geschosse von Gebäuden bezeichnet. Nicht nur die Lagerflächen für Material und Transportwege sondern auch die benötigten Arbeitsbereiche zur sicheren und produktiven Ausführung sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen. Hierzu wird der vorhandene Simulationsbaustein *Fläche* eingesetzt und um notwendige Funktionalitäten erweitert. Dieser Baustein wird aktuell zum Beispiel für die Flächenbelegung in Fertigungsstationen verwendet. Eine der zusätzlich notwendigen Funktionen ist die Bewegung der Mitarbeiter bzw. Transportmittel auf der Fläche unter Berücksichtigung von abgelegtem Material, montierten Bauteilen oder anderen Hindernissen im Raum. Diese Funktionen wurden bereits prototypisch umgesetzt und werden zurzeit in den Ablauf des Innenausbaus integriert.

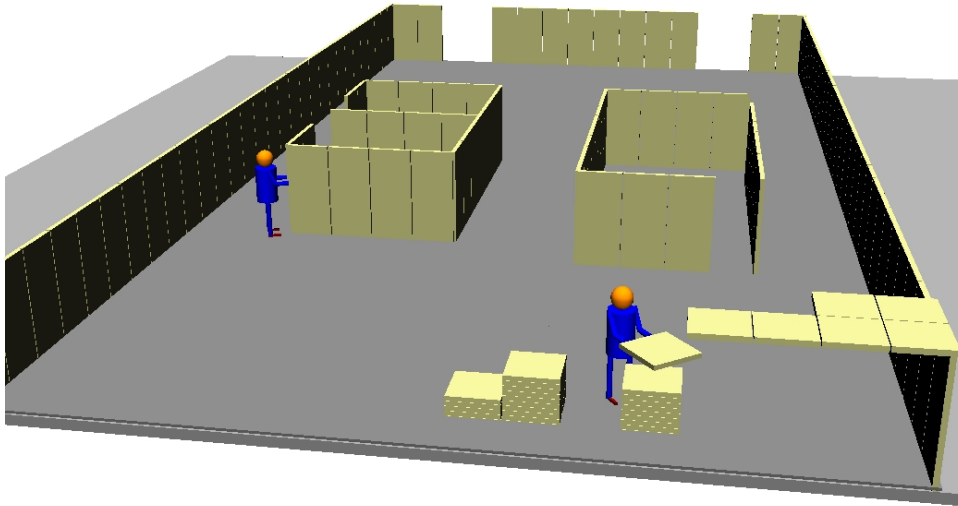


Bild 5.2: Visualisierung zum Simulationsmodell des Ausbaus einer Feuerzone

6 Ausblick

Aufgrund der aktuellen Situation der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mit vier Passagierfähren im Auftragsbuch wird die Arbeit an der Simulation von Ausbauprozessen in den nächsten Monaten intensiviert. Die Validierung der ersten Entwicklungsstände der Simulationsbausteine für den Innenausbau wird auf der Grundlage aktueller Ist-Informationen vorgenommen, die zurzeit im Rahmen des Schiffsausbaus bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft ermittelt werden. Die ersten Validierungsergebnisse zeigen jetzt schon, dass die entwickelten Konzepte die Planung und Transparenz der Innenausbauprozesse deutlich verbessern.

Literatur

Hertel, E.; Nienhuis, U.; Steinhauer, D. (2005). „Simulation of Assembly Production at Shipyards“, *International Journal of CAD/CAM*, Volume 6, Dezember 2006, 19-28

König, M.; Beißert, U.; Steinhauer, D. and Bargstädt, H.-J. (2007). „Constraint-based Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering“, *6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation*, Ljubljana, Slovenia (accepted paper).

Steinhauer, D. (2006). „Simulation im Schiffbau - Unterstützung von Werftplanung, Produktionsplanung und Produktentwicklung bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft“, Tagungsband der 12. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Universität Kassel, September 2006, 1-13.

Steinhauer, D.; König, M.; Bargstädt, H.-J. (2007). „Branchenübergreifende Kooperation zur Simulation von Montageabläufen beim Innenausbau von Schiffen“, Hansa International Maritime Journal, August 2007

Wagner, L.; Steinhauer, D.; Hübler, M. (2005). „Entwicklung eines Simulationsbausteinkasten für die Schiffsausrüstung“, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben SIMBA gefördert durch das BMBF 2003-2005 mit dem Förderkennzeichen 03SX151, 2005

Prof. Dr.-Ing. Markus König,
Dipl.-Ing. Ulrike Beißert
und
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc.

Ereignis-diskrete Simulation von Trockenbauarbeiten - Konzept, Implementierung und Anwendung

Prof. Dr.-Ing. Markus König
Juniorprofessur Theoretische Methoden des Projektmanagements

Dipl.-Ing. Ulrike Beißert

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc.

Bauhaus-Universität Weimar

Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Marienstraße 7, 99423 Weimar

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	17
1	Einleitung	17
2	Constraint Satisfaction	18
3	Constraints für Ausbauprozesse	20
4	Simulationskonzept	21
5	Implementierung	22
5.1	Visualisierung.....	24
5.2	Datenmanagement	25
6	Zusammenfassung.....	25
	Literatur	26

Kurzfassung

Aktuell werden Ausbauarbeiten im Bauwesen nicht ausreichend geplant und analysiert. Eine Vielzahl von Randbedingungen, wie beispielsweise, technische Abhängigkeiten oder die Verfügbarkeit von Ressourcen und Arbeitsplätzen sind bei der Planung zu berücksichtigen. Komplexe Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen beteiligten Gewerken sowie eingeschränkte Lager- und Arbeitsplätze führen zu vielfältigen Problemen auf der Baustelle. Heutzutage wird in der Regel versucht, diese Probleme durch umfangreiche Koordination während der Ausführung zu beheben, um die geplanten bzw. vorgegebenen Kosten und Termine einzuhalten. Zur Unterstützung und Verbesserung der Termin- und Ressourcenplanung wird im Rahmen der SIMoFIT-Kooperation (*Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering*) ein geeignetes Simulationsframework für die Ausbauplanung entwickelt. Im Rahmen dieses Beitrags wird das constraint-basierte Simulationskonzept sowie deren prototypische Umsetzung und Anwendung vorgestellt. Dieser Modellierungsansatz ermöglicht eine realistische, flexible und adaptive Beschreibung von Ausführungsrestriktionen. Mit Hilfe eines entsprechenden Simulationsmodells können verschiedene mögliche Ausführungsreihenfolgen berechnet und ausgewertet werden.

1 Einleitung

Eine erfolgreiche Projektdurchführung ist von unterschiedlichen Kriterien, wie beispielsweise Kosten, Termine, Qualität und Auslastung, abhängig. Die Berücksichtigung aller genannten Kriterien erfordert eine detaillierte und genaue Planung. Aufgrund des vorherrschenden Termindrucks in der Arbeitsvorbereitung, werden die Ausbauprozesse nicht hinreichend genau geplant und ausreichend analysiert. Diese Tatsache ist sehr verwunderlich, da im Jahr 2005 die Ausbauarbeiten ca. 38% des gesamten Bauvolumens im deutschen Hochbau ausmachten (*vergleiche IBW 2006*). Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wäre somit eine umfangreiche Untersuchung von Ausbauprozessen unter Berücksichtigung der projekt-spezifischen Randbedingungen und Alternativen äußerst sinnvoll, um mit Hinblick auf die angestrebten Projektziele eine annähernd optimale Lösung für den Bauproduktionsab-

lauf zu ermitteln.

Praktische Erfahrungen der stationären Fertigungsindustrie, beispielsweise aus dem Fahrzeug-, Flugzeug- oder Schiffbau zeigen, dass Simulationsmodelle für die Planung und Steuerung von Produktions- oder Montageprozessen sehr zweckmäßig eingesetzt werden können. In den aufgeführten Bereichen werden bereits mit Hilfe von Simulationsläufen die Planungsdaten geprüft, der Materialfluss und die Einsatzplanung optimiert, sowie Prognosen auf Basis von aktuellen Ist-Daten aufgestellt. Auch im Bauwesen könnte sich der Einsatz von entsprechenden Simulationsmodellen als sinnvoll erweisen, um beispielsweise Termine besser einhalten oder Kosten genauer kalkulieren zu können.

Im Gegensatz zur stationären Fertigungsindustrie werden heutzutage im Hochbau nur in seltenen Fällen Simulationsmodelle zur Planung und Analyse von Bauprozessen eingesetzt. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Bauprojekte, wie beispielsweise die Lage des Bauplatzes, die vorgesehene Konstruktionsart oder die beteiligten Gewerke ist die Aufstellung von Simulationsmodellen für Bauproduktionsprozesse mit den bisher verfügbaren kommerziellen Simulationsumgebungen sehr aufwendig.

Im Rahmen dieses Beitrages wird ein Konzept zum Aufbau constraint-basierter Simulationsmodelle für Ausbauprozesse im Hochbau vorgestellt, welches unter Verwendung eines ereignis-diskreten Simulationsbausteinkasten (*STS Simulation Toolkit Shipbuilding* – <http://www.simcomar.com>) der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG implementiert werden soll. Das vorgestellte Konzept und seine Umsetzung werden im Rahmen der SIMoFIT-Kooperation (*Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering* - <http://www.simofit.com>) entwickelt.

2 Constraint Satisfaction

Die Modellierung von Ablaufplanungs- und Ressourcenbelegungsproblemen wird häufig mit Hilfe von sogenannten Constraints vorgenommen (*vergleiche Rossi et al. 2006 und Goltz 1995*). Constraints beschreiben die Einschränkungen von Variablen bzw. Randbedingungen zwischen ihnen. Das Problem besteht nun darin, eine Wertekombination für die Variablen zu finden, so dass alle ihnen zugewiese-

nen Constraints erfüllt sind (*vergleiche Kumar 1992*). Im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten werden die Ausbauaufgaben als Variablen beschrieben. Die Beziehungen zwischen den Ausbauaufgaben oder notwendigen Ressourcen, Materialien oder Arbeitsplätzen werden als Constraints spezifiziert. Die Menge der Constraints kann beliebig erweitert und detailliert werden. Somit ist gewährleistet, dass neue Anforderungen oder aktuelle Ist-Daten während der Planung berücksichtigt werden können. In der Regel existiert ein sehr großer Lösungsraum, da sehr viele unterschiedliche Wertekombinationen möglich sind, die alle Constraints erfüllen. Es hat sich gezeigt, je mehr Restriktionen definiert werden, umso mehr wird auch der Lösungsraum eingeschränkt (*vergleiche Fox und Smith 1984 sowie van Hentenryck et al. 1996*).

Um eine realistische Modellierung von Randbedingungen und Restriktionen in Form von Constraints zu ermöglichen, werden in der Regel Hard und Soft Constraints unterschieden (*vergleiche Rossi et al. 2006 und Sauer 1998*). Hard Constraints definieren Einschränkungen, die in jedem Fall zur Ausführung einer Aufgabe erfüllt sein müssen. Hierzu gehören beispielsweise technologische Zwangsfolgen zwischen Prozessen sowie notwendige Ressourcenkapazitäten. Häufig sollen jedoch auch sogenannte „weiche“ Randbedingungen berücksichtigt werden. Man spricht auch von zweckmäßigen Randbedingungen, die nicht unbedingt erfüllt sein müssen. Diese werden als Soft Constraints beschrieben. Werden die Soft Constraints nicht vollständig erfüllt, so können beispielsweise Produktivitätsabfälle der Arbeiter oder unzureichende Kapazitätsauslastung der Maschinen die Folge sein. (*vergleiche Beck und Fox 1994*).

Für das Finden optimaler Lösungen von Constraint Problemen können verschiedene Arten sogenannter Constraint-Löser eingesetzt werden (*vergleiche Beck und Fox 1994 sowie Kumar 1992*). Eine optimale Lösung von sehr großen Constraint Problemen ist in der Regel auch bei Einsatz von Constraint-Lösern nur mit einem sehr großen Rechenaufwand möglich. In der Baupraxis wird jedoch häufig nicht unbedingt eine optimale Lösung benötigt. Vielmehr ist es hier sinnvoll, sehr schnell verschiedene gültige Lösungen zu ermitteln, um diese anschließend diskutieren und den Ablauf verbessern zu können. Dies ist im Besonderen mit Hinblick auf die häufig auftretenden Planungsänderungen sehr zweckmäßig aber auch für die Berücksichtigung aktueller Ist-Daten zur Erstellung von Prognosen.

Im Rahmen der vorgestellten Forschungsarbeit wird die Monte-Carlo-Simulation für die schnelle Generierung möglicher Ausbauabläufe, unter Berücksichtigung der definierten projekt-spezifischen Randbedingungen, eingesetzt. Jede Lösung kann im Anschluss visualisiert, analysiert und bewertet werden, um so ein mögliches Verbesserungspotential im Ablauf aufzudecken.

3 Constraints für Ausbauprozesse

Zur Modellierung von Ausbauprozessen werden verschiedene Arten von Hard und Soft Constraints spezifiziert. Die aktuell verwendeten bzw. in Zukunft vorgesehenen Hard und Soft Constraints sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Hard und Soft Constraints für Ausbauprozesse

Hard Constraints	
Technologische Zwangsfolge	Zwingend erforderliche Reihenfolge zwischen zwei Ausbauvorgängen
Kapazität	Anzahl und Qualifikation der notwendigen Arbeiter und Arbeitsmittel
Verfügbarkeit	Notwendiges Material unter Berücksichtigung von vorhandenen Lagerflächen
Sicherheitskriterien	Sicherheit von Arbeitern und Arbeitsmitteln auf der Basis von allgemeinen Sicherheitsvorschriften
Soft Constraints	
Produktivität	Verhältnis zwischen Arbeitsproduktivität und verfügbaren Arbeitsplatz (<i>vergleiche Akinci et al. 2002 and Mallasi 2004</i>)
Strategien	Sinnvolle und bewährte lokale und globale Fertigungsstrategien

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Hard und Soft Constraints für Ausbauprozessen kann *König et. al. 2007* entnommen werden.

4 Simulationskonzept

Die vorgestellten Constraints werden im Rahmen eines ereignis-diskreten Simulationsansatzes verwendet. Die Simulationszeit verläuft zwischen aufeinanderfolgenden Ereignissen in Zeitsprüngen. Typische Ereignisse sind beispielsweise, die Fertigstellung einer bestimmten Arbeit oder das Eintreffen eines Materials an einem bestimmten Lagerort.

Das Simulationskonzept basiert auf der Simulation einzelner Arbeitsschritte. Jede Ausbauaufgabe, wie beispielsweise die Herstellung einer Trockenbauwand, wird in einzelne Arbeitsschritte zerlegt. Jeder Arbeitsschritt besitzt einen Zustand: nicht begonnen, begonnen oder beendet, der Aufschluss über seine Bearbeitung gibt. Jeder Arbeitsschritt wird ohne Unterbrechung und ohne Änderung der zugewiesenen Ressourcen oder Arbeitsplätze ausgeführt.

Nach dem Eintreten eines neuen Ereignisses müssen alle nicht begonnenen Arbeitsschritte auf die Möglichkeit ihrer Ausführung hin überprüft werden. Ein Arbeitsschritt kann begonnen werden, wenn alle ihm zugeordneten Hard Constraints erfüllt sind. Die so ermittelten ausführbaren Schritte werden anschließend auf Basis der definierten Soft Constraints sortiert. Derjenige Arbeitsschritt, der die zugeordneten Soft Constraints am „Besten“ erfüllt, kann als nächstes gestartet werden. Sollten hier mehrere Schritte ihre Bedingungen gleichermaßen erfüllen, wird einer von ihnen zufällig gewählt.

Ein Arbeitsschritt benötigt für die Ausführung ein bestimmtes Material, Personal oder bestimmte Arbeitsmittel. Diese Objekte müssen während der Ausführung des Schrittes für andere Arbeitsschritte gesperrt werden. Dies hat vor dem eigentlichen Start des Arbeitsschrittes zu erfolgen. Auf der Basis der definierten Ausführungszeit des Schrittes wird ein neuer Ereigniszeitpunkt festgelegt. Anschließend sind die nicht begonnenen Schritte erneut auf die Möglichkeit ihrer Ausführung hin zu prüfen. Diese Prüfung ist solange durchzuführen, bis kein weiterer Schritt zum aktuellen Simulationszeitpunkt gestartet werden kann.

Ist die geplante Ausführungszeit eines Arbeitsschrittes beendet und das entsprechende Ereignis eingetreten, sind alle gesperrten Ressourcen bzw. Arbeitsplätze wieder frei zu geben. Beide Simulationsschritte werden so lange wiederholt, bis alle Arbeitsschritte beendet sind oder im Fehlerfall keine Arbeitsschritte mehr ge-

startet werden können. Jeder Simulationslauf mit allen Zustandsänderungen bzw. Sperrungen wird protokolliert. Somit kann ein Terminplan erstellt und bspw. auf die Auslastung der Ressourcen analysiert werden.

5 Implementierung

Das vorgestellte constraint-basierte Simulationskonzept wurde unter Verwendung des Simulationsbausteinkastens für den Schiffbau (*vergleiche Steinhauer und Heinemann 2004*) mit Hilfe der Simulationssoftware Plant Simulation der Firma UGS Tecnomatix umgesetzt (<http://www.ugs.com/products/tecnomatix>). Um ein spezielles Simulationsmodell für Ausbauprozesse umzusetzen, werden aktuell folgende Komponenten entwickelt bzw. bestehende erweitert (*siehe Bild 1*).

Materialverwaltung: Bei der Materialverwaltung werden alle Materialien angemeldet. Mit Hilfe eines speziellen Bausteins werden die Materialien als eigenständige Objekte erzeugt. Die Materialinformationen sowie dessen aktuelle Lagerposition wird von der Materialverwaltung protokolliert. Somit kann ein zur Ausführung vorgesehener Arbeitsschritt über die Materialverwaltung ermitteln, ob sein benötigtes Material vorhanden bzw. wo es gelagert ist.

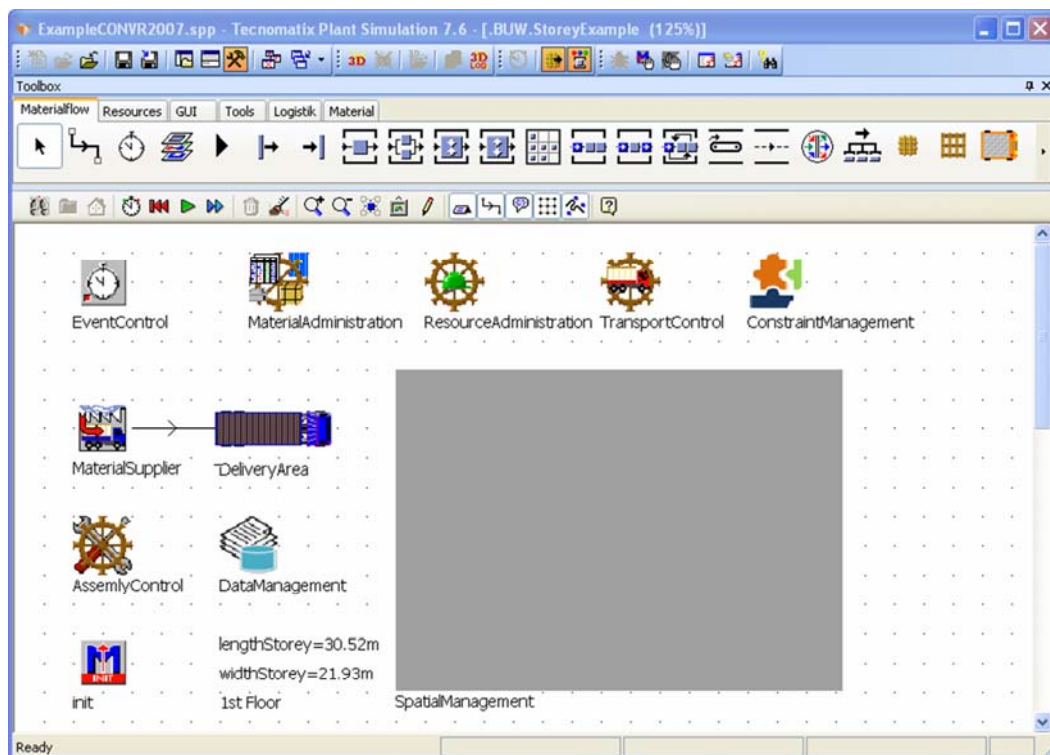


Bild 1: Komponenten eines constraint-basierten Simulationsmodells

Ressourcenverwaltung: Diese Komponente verwaltet, sperrt und entsperrt die notwendigen Ressourcen. Aktuell sind nur Arbeiter mit ihren entsprechenden Qualifikationen implementiert. Jede Zuweisung bzw. Freigabe einer Ressource wird von der Verwaltung protokolliert.

Bereichsverwaltung: Für eine realistische Planung ist die Berücksichtigung des Baustellenlayouts bzw. der verfügbaren Arbeits- und Lagerflächen zwingend notwendig. Um dies zu ermöglichen wird das Bauwerk in verschiedene Raumabschnitte bzw. Arbeitsebenen untergliedert. Eine Arbeitsebene, beispielsweise ein Geschoss, wird mit Hilfe eines regelmäßigen rechteckigen Rasters modelliert. Die einzelnen Rasterzellen besitzen bestimmte Zustände, um diese während der Simulation sperren zu können. Vor dem Start eines Arbeitsschrittes kann anhand der Zellenbelegung geprüft werden, ob der notwendige Arbeitsplatz verfügbar ist.

Transportsteuerung: Die Transportsteuerung verwaltet die definierten Transportmittel und bearbeitet die eingehenden Transportanfragen. Ist ein Material beispielsweise nicht an seinem Einbauort vorhanden, muss dessen Transportvorgang initiiert werden. Erst wenn der Transport erfolgreich beendet wurde, kann der entsprechende anfordernde Arbeitsschritt begonnen werden.

Constraint-Verwaltung: Alle Arbeitsschritte und zugehörigen Hard und Soft Constraints werden im Rahmen dieses Bausteins verwaltet. Nachdem ein neues Ereignis eingetreten ist, erfolgt mit Hilfe der entsprechenden Methoden der Constraint-Verwaltung die Prüfung der Hard und Soft Constraints. Anschließend wird der nächste ausführbare Arbeitsschritt an die Montagesteuerung übergeben.

Montagesteuerung: Die Montagesteuerung bildet den Kern jedes Simulationsmodells. Mit Hilfe dieser Komponente werden die Arbeitsschritte gestartet und beendet. Außerdem werden die notwendigen Ressourcen, Transportvorgänge und Arbeitsplätze angefordert bzw. wieder frei gegeben. Das Zusammenspiel der Montagesteuerung mit den anderen Simulationsbausteinen ist in *Bild 2* dargestellt.

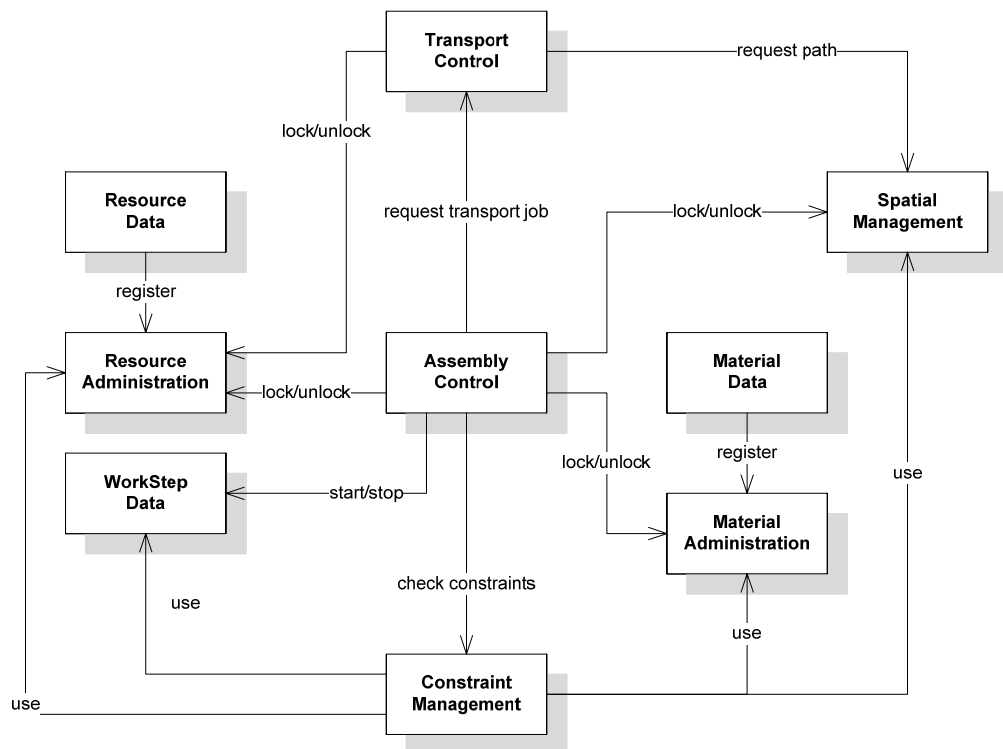


Bild 2: Schematischer Zusammenhang zwischen den einzelnen Simulationsbausteinen

5.1 Visualisierung

Das 2D-Visualisierungskonzept der Software Plant Simulation basiert auf der Animation von Icons für statische und bewegliche Objekte auf der Grundlage von Animationspunkten. Jedes Simulationsobjekt besitzt ein spezielles Icon. Während der Simulation können die Objekte ihre Position verändern, indem die entsprechenden Animationspunkte verschoben werden. Um eine Animation zwischen zwei Ereignissen zu ermöglichen, können Animationspfade definiert und eine kontinuierliche Animation zwischen beispielsweise dem Start eines Prozesses und seinem Ende ermöglicht werden. Jedem Simulationsobjekt kann auch eine Darstellung in 3D auf der Basis von VRML zugeordnet werden. Für die 3D-Animation werden dieselben Animationspunkt bzw. Animationspfade verwendet. In Bild 3 sind der Transport von Ausbaumaterial mit Hilfe eines Krans (a) sowie die aktuellen Positionen von zwei Arbeitern während der Montage einer Trockenbauwand (b) dargestellt.

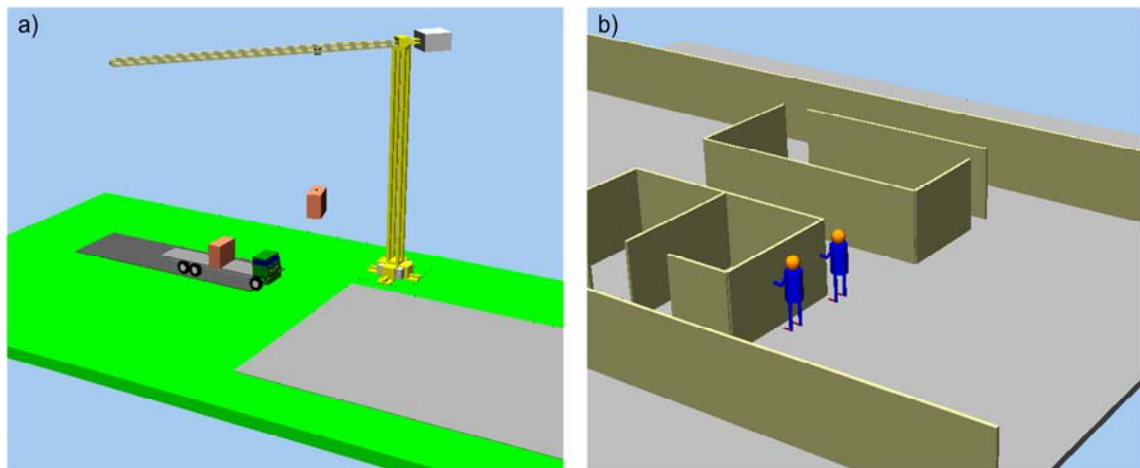


Bild 3: 3D Visualisierung von Transport- und Montagevorgängen

5.2 Datenmanagement

Die Effektivität von Simulationsmodellen und daraus resultierend die Anwendbarkeit hängt sehr stark von der Qualität der Eingangsdaten ab. Die Definition bzw. Generierung von zweckmäßigen Eingangsdaten ist aktuell noch sehr aufwendig. So müssen die einzelnen Arbeitsschritte, Materialien, Ressourcen, Arbeitsplätze und Baustellenlayouts spezifiziert werden. Einige dieser notwendigen Daten können direkt oder verändert aus vorhandenen CAD-Daten bezogen werden. Diese CAD-Daten beinhalten jedoch häufig nicht die notwendigen Details für eine Simulation und so muss ein Großteil der Daten noch manuell erzeugt werden. Ein sinnvoller Ansatz ist hier die Implementierung von Datengeneratoren für spezielle Ausbauprozesse. Im Rahmen aktueller Arbeiten wird ein Generator für Arbeitsschritte, Material, Constraints, Montageposition und Arbeitsplätze für Trockenbauwände umgesetzt.

6 Zusammenfassung

Die Generierung und detaillierte Analyse verschiedener Ausführungsalternativen von Ausbauarbeiten ist aktuell äußerst aufwendig. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein constraint-basierter Ansatz zur projekt-spezifischen Simulation von Ausbauprozessen vorgestellt. Durch die Verwendung von Hard und Soft Constraints können unterschiedliche Randbedingungen bzw. Erfahrungen sehr realistisch mo-

delliert werden. Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes besteht in der einfachen Integration von Projektänderungen oder IST-Daten. Außerdem unterstützt die Visualisierung und Animation verschiedener Ausbauszenarien die Planer und Ausführenden, um mögliche Verbesserungspotenziale entdecken und diskutieren zu können.

Im Rahmen der weiteren Forschungsarbeit sollen zusätzliche Soft Constraints modelliert und implementiert werden. Unter anderem ist die Eignung von gewichteten und unscharfen Soft Constraints zu untersuchen. Aktuell wird im Besonderen die Umsetzung von globalen Fertigungsstrategien weiter vorangetrieben.

Des Weiteren sollen die vorhandenen Komponenten zur Lagerplatzverwaltung ergänzt werden. Dabei sind nicht nur freie Lagerplätze, sondern auch Kriterien wie Tragfähigkeit oder Umlagerungsstrategien zu berücksichtigen. Auch die anschauliche Darstellung von definierten Hard Constraints sowie die Erfüllung von Soft Constraints soll in Zukunft integriert werden. Dadurch können mögliche Verbesserungspotentiale bzw. vorhandene Schwachstellen besser dargestellt und aufgedeckt werden.

Literatur

Akinci, B.; Fischer, M.; Levitt, R. and Carlson, R. (2002). „Formalization and Automation of Time-Space Conflicts Analysis”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 16(2), 124-134.

Beck, J.C. and Fox, M.S. (1994). „Supply Chain Coordination Via Mediated Constraint Relaxation”, *Proceedings of the First Canadian Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, Banff, Alberta.

Fox, M.S. and Smith, S.F. (1984). „ISIS – a knowledge-based system for factory scheduling”, *Expert Systems Journal*, 1(1), 25-49.

Goltz, H.-J. (1995). „Reducing domains for search in CLP(FD) and its application to job-shop scheduling”, *Proc. CP'95 - First International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, Springer LNCS 976, pp. 549-562.

IBW – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2006). „Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe – Berechnungen für das Jahr 2005“, <http://www.bmvbs.de>.

König, M.; Beißert, U.; Steinhauer, D. and Bargstädt, H.-J. (2007). „Constraint-based Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civil Engineering“, 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Ljubljana, Slovenia (accepted paper).

*Kumar, V. (1992). „Algorithms for Constraint Satisfaction Problems: A Survey“, *AI Magazine*, spring 1992, pp. 32-43, 1992.*

Mallasi, Z. (2004). „Identification, and Visualisation of Construction Activities' Workspace Conflicts Utilizing 4D CAD/VR Tools“, 1st ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture, KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia, 235-253.

*Rossi, F.; van Beek, P. and Walsh, T. (2006). „Handbook of Constraint Programming“, *Foundations of Artificial Intelligence*, Elsevier, Amsterdam.*

*Sauer, J. (1998). „A Multi-Site Scheduling System“, *Proc. Artificial Intelligence and Manufacturing – Research Planning Workshop – State of the Art and State of the Practice*, Albuquerque, AAAI-Press, 161-168.*

*Steinhauer, D. and Heinemann, M. (2004). „Simulation Based Transport and Storage Planning on a Shipyard“, *ASIM Dedicated Conf. for Simulation in Production and Logistics 2004*, pp.113-122.*

*van Hentenryck, P.; Saraswat, V. et al. (1996). „Strategic Directions in Constraint Programming“, *ACM Computing in constraint programming*, 28(4), 701-726.*

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Huhnt

und

Dipl.-Ing. Felix Enge

Simulationsmodelle für die Ausführung von Bauleistungen

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Huhnt

Dipl.-Ing. Felix Enge

Technische Universität Berlin

Fachgebiet Internetbasierte Prozessmodellierung für
ad-hoc-Organisationen im Bauwesen

Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	31
1 Motivation.....	31
2 Modellierungskonzept	34
2.1 Mengen	35
2.2 Relationen.....	38
2.3 Berechnung ausgewählter Relationen	41
3 Anwendungsbeispiel	43
4 Zusammenfassung.....	48
5 Ausblick.....	48
Literatur	49

Kurzfassung

Prozesse der Bauausführung sind komplex. Verschiedene Beteiligte führen hunderte bis tausende von Vorgängen innerhalb vorgegebener Zeitfenster durch. Unterschiedliche Baumaschinen werden für verschiedenartigste Vorgänge benötigt. Baumaterialien und Einbauteile werden eingebaut oder gegebenenfalls rückgebaut. Dieses komplexe Zusammenspiel muss im Vorfeld durchdacht werden. Ziel ist es, den Bauablauf vor Projektbeginn so zu durchdringen, dass nicht nur durchführbare Soll-Vorgaben entwickelt werden, sondern qualitativ hochwertige Bauwerke effizient hergestellt, umgebaut, renoviert oder rückgebaut werden. Hierbei können Simulationen des Bauablaufs zweckmäßig genutzt werden, um Erkenntnisse über einen geplanten Ablauf zu gewinnen. Die Erstellung der erforderlichen Simulationsmodelle ist jedoch nach den heute üblicherweise angewandten Konzepten sehr aufwändig. Bauprozesse müssen projektspezifisch gestaltet werden. Die verfügbaren Werkzeuge unterstützen jedoch die Gestaltung nur bedingt: sie dokumentieren den jeweiligen Prozess und erfordern aufwändige Eingaben. Im hier vorliegenden Beitrag wird eine Modellierungstechnik vorgestellt, deren Anwendung die Gestaltung der Ausführungsprozesse unterstützt. Aus ausgewählten Eingangsinformationen wird ein konsistentes Gebilde durch Anwendung der Relationenalgebra und der Graphentheorie errechnet. Das Ergebnis stellt ein formal abgesichertes Prozessmodell dar, das für die Simulation und die Animation verschiedener Aspekte wie Ablauf der Vorgänge, Auslastung der Baumaschinen, Entwicklung der Bauteile oder Bedarf an Baumaterialien eine Voraussetzung ist.

1 Motivation

Die Komplexität von Bauprojekten ist auf eine Vielzahl von Ursachen zurückzuführen. Viele Beteiligte aus unterschiedlichen Fachdisziplinen arbeiten zusammen. Bauherren wünschen individuelle Lösungen. Bauwerke unterscheiden sich in Funktion, in Konstruktion und in den verwendeten Materialien. Unterschiedliche Bauverfahren werden angewandt. Die Variationsvielfalt an Detaillösungen ist unerschöpflich. Zeitliche und finanzielle Rahmenbedingungen variieren von Projekt zu Projekt. Als Konsequenz dieser Eigenschaften der Bauprojekte müssen die Bau-

prozesse individuell für jedes Projekt neu betrachtet und durchdacht werden. Dies betrifft insbesondere die Erarbeitung der Terminpläne. Ausführungsterminpläne können dabei mehrere tausend Vorgänge umfassen. In der Projektvorbereitung sind diese Terminpläne zu entwickeln mit dem Ziel, konsistente und korrekte Vorgaben für die Ausführung eines Projektes machen zu können.

Eine klassische Herangehensweise zur Bestimmung von Terminplänen ist die Anwendung der Netzplantechnik (Brandenberger und Ruosch (1993)), bei der der Ausführungsprozess auf einen Graphen abgebildet wird. Bei vorgangsorientierten Netzplänen werden die Knoten des Graphen mit Vorgängen assoziiert und die Kanten mit der Anordnungsbeziehung zwischen zwei Vorgängen. Den Knoten wird eine Dauer zugeordnet und den Kanten ein festgelegter Anordnungstyp und eine Dauer. Erfüllt der Graph bestimmte Eigenschaften, lässt sich durch die in der Netzplantechnik definierte Vorwärts- und Rückwärtsrechnung für jeden Vorgang ein Zeitfenster berechnen (frühster Anfang FA, frühestes Ende FE, spätester Anfang SA und spätestes Ende SE). Dieses Zeitfenster gibt an, wann ein Vorgang durchzuführen ist, ohne dass Konflikte mit anderen Vorgängen des Ausführungsprozesses entstehen. Der Vorteil der Netzplantechnik liegt in dem formalen Ansatz zur Bestimmung der Zeitfenster. Durch die relativen Zeitangaben wirken sich Änderungen im zugrunde liegenden Graphen konsistent auf den gesamten Prozess aus. Die Anwendung dieser Methodik hat sich jedoch nur bedingt durchgesetzt, da die Ergebnisse nur aussagekräftig sind, wenn alle Abhängigkeiten richtig und vollständig angegeben werden. Insbesondere die Überprüfung auf Konsistenz der Abhängigkeiten ist mit einem enormen Aufwand verbunden.

In vielfältigen Forschungsvorhaben wurde diese Problematik aufgegriffen mit dem Ziel, den Aufwand bei der Erarbeitung von Ausführungsterminplänen zu reduzieren und die Qualität der Terminpläne zu erhöhen. Wissensbasierte Systeme (Hendrickson et al. (1987), Navinchandra et al. (1988), Winstanley et al. (1993)) und fallbasierte Systeme (Dzeng und Tommelein (1993) und (1997)) sind Beispiele derartiger Ansätze. Ein zentraler Aspekt ist es, auf die Abhängigkeiten zwischen den Vorgängen zu schließen. Hierbei wurden auch Ansätze veröffentlicht, bei denen verschiedene Semantiken für Abhängigkeiten zwischen Vorgängen unterschieden werden (Fischer und Aalami(1996), Aalami et al. (1998)).

Die veröffentlichten Ansätze erzielten teilweise sehr gute Resultate. Insbesondere

bei gleichartigen oder ähnlichen Bauprojekten können wissensbasierte Systeme zweckmäßig genutzt werden. Sie stoßen jedoch an ihre Grenzen, wenn das aktuelle Projekt über zu viele Besonderheiten verfügt. Bei derartigen Projekten müssen das abgelegte Wissen oder die gespeicherten Fälle ergänzt werden. Hierbei steht wiederum der Mensch vor der Herausforderung, die Komplexität zu beherrschen und korrekte und konsistente Erweiterungen vorzunehmen.

Die Terminplanung ist heute gekennzeichnet durch drei verschiedene Teilaufgaben: (1) Vorgänge sind zu definieren, (2) Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den Vorgängen sind festzulegen und (3) die Dauern der Vorgänge sind zu ermitteln und anzugeben. Diese Aufgaben werden heute in der Regel von erfahrenen Projektmanagern bearbeitet. Das Erfahrungswissen der Beteiligten ist dabei von essentieller Bedeutung. Die erarbeiteten Terminpläne werden per Inspektion geprüft. In den Terminplänen wird dokumentiert, wie das jeweilige Projekt durchzuführen ist. Informationen, warum ein erarbeiteter Ablauf genau so auszuführen ist, werden in der Regel nicht erfasst. Die Terminpläne selbst entziehen sich dabei weitestgehend einer methodisch abgesicherten Überprüfung. Zeitfenster für Vorgänge werden vielfach absolut gesetzt und nicht durch Abhängigkeitsbeziehungen relativ gehalten.

Am Fachgebiet Internetbasierte Prozessmodellierung für ad-hoc-Organisationen im Bauwesen wurde eine Herangehensweise zur formalen Beschreibung von Ausführungsprozessen entwickelt, die das Modellieren des Prozesses in den Mittelpunkt rückt. Diese Methodik wird im vorliegenden Beitrag vorgestellt. Im Fokus steht die Reduzierung des Spezifikationsaufwands und die Bewältigung der Komplexität von Ausführungsprozessen. Ziel der Methodik ist es, mit einem Minimum an Eingangsinformationen auszukommen und formale Mechanismen zur Berechnung des Zusammenhangs anzuwenden. Das Ergebnis ist ein Graph, der sowohl die technologisch zwingenden Abhängigkeiten vollständig und konsistent beschreibt, als auch eine Aussage über die Qualität im Sinne der fachlichen Korrektheit zulässt. Damit steht ein Rohling für einen Terminplan zur Verfügung, der um weitere Angaben, wie beispielsweise Ressourcenbegrenzungen, Terminvorgaben etc., zu ergänzen ist. Auf Grund der formalen Herangehensweise sind die Eigenschaften des resultierenden Prozessmodells mathematisch begründet und die Vollständigkeit und Korrektheit kann konsistent zur Eingabe gewährleistet werden.

Auf der Grundlage des hier beschriebenen Modellierungskonzeptes steht ein effizientes Vorgehen zur Verfügung, das einen Beitrag leisten kann, den Aufwand für das Erstellen geeigneter Input-Modelle für Simulationsmethodiken bereitzustellen.

2 Modellierungskonzept

Voraussetzung für die Anwendung der in diesem Beitrag vorgestellten Methodik ist eine Beschreibung des Bauwerks, das im jeweiligen Bauprojekt herzustellen, umzubauen oder rückzubauen ist. Das Bauwerk muss in Bauteile zerlegt werden, die einzelnen Bauteile des Bauwerks müssen benannt sein. Hierbei schreibt die Methodik nicht den Detaillierungsgrad vor. Was als Bauteil betrachtet wird, ist durch den Nutzer festzulegen. Beispielsweise kann jede einzelne Wand eines Bauwerks als Bauteil benannt werden, es ist aber ebenso möglich, die Begrenzungswände einer Flurseite oder eine Wand mit einer in ihr enthaltenen Tür zu einem Bauteil zusammenzufassen. Für jedes Bauteil ist anzugeben, welche Zustände es im Verlauf des Bauprojektes in welcher Reihenfolge annimmt. Es ist zweckmäßig, die Beschreibung der Zustände nicht für jedes Bauteil einzeln vorzunehmen. Bauteile können typisiert werden, indem die Bauteile, die dieselben Zustände in derselben Reihenfolge annehmen, zu einem Typ zusammengefasst werden (Enge (2005)).

Die Modellierung des Prozessmodells erfolgt auf der Grundlage von Aufgaben und Ereignissen sowie Relationen zwischen Aufgaben und Ereignissen. Aufgaben werden im Folgenden als Ausführungsvorgänge, kurz Vorgänge, bezeichnet, und Ereignisse beschreiben die Voraussetzungen und die Ergebnisse von Vorgängen. Voraussetzungen und Ergebnisse sind Bauteile in charakteristischen Zuständen, z.B. *Wand* im Zustand *gemauert*.

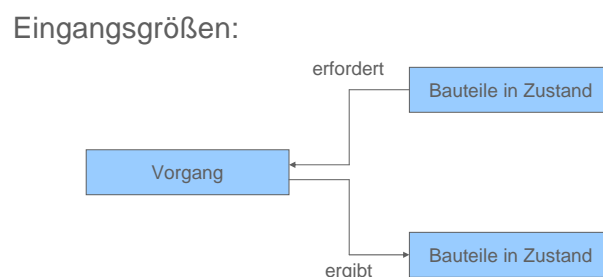


Bild 2.1: Vorgang mit Voraussetzungen und Ergebnissen

Klassische Modellierungskonzepte verlangen die Angabe von Abhängigkeiten

zwischen Vorgängen als Input. Hierfür ist es erforderlich, aus der Menge aller Vorgänge diejenigen zu identifizieren, die mit dem aktuell betrachteten Vorgang in Beziehung stehen könnten. Dabei bleibt Interpretationsspielraum, da im Allgemeinen ein Vorgangsname nicht eindeutig seine Ergebnisse beschreibt. Bild 2.2 zeigt einen Ausschnitt aus einem Terminplan, der dies verdeutlicht.

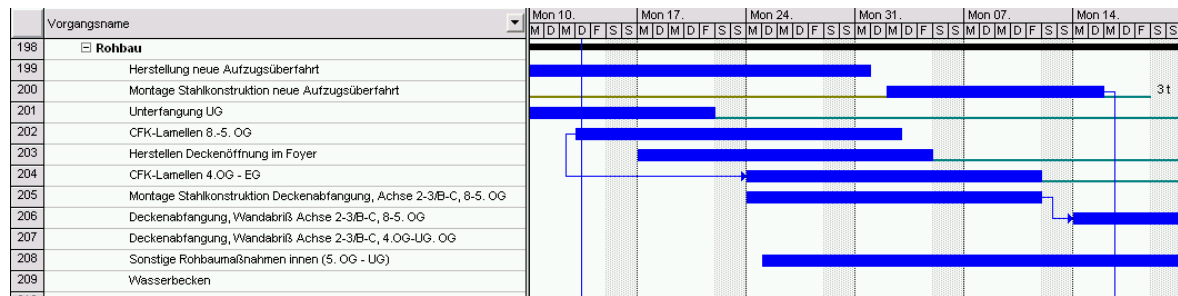


Bild 2.2: Klassischer Terminplanungsansatz

Ob eine Relation zu modellieren ist, hängt somit von der Interpretation des Betrachters ab. Sehr viel präziser ist die Beschreibung der Ergebnisse eines Vorgangs durch die Angabe der erreichten Zustände der durch den Vorgang veränderten Bauteile. Dieses Konzept verfolgt der hier beschriebene Ansatz. Nicht die Abhängigkeiten zwischen Vorgängen sind vorzugeben, sondern Abhängigkeiten zwischen Vorgängen und Bauteilen in Zuständen sind vorzugeben. Ein entscheidender Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass jeder Vorgang unabhängig von den anderen Vorgängen spezifiziert werden kann. Dem Planer bleibt somit erspart, sich das gesamte Prozessmodell gedanklich vorzuhalten. Lediglich der Ausschnitt des Bauwerks, dessen Bauteile durch den aktuellen Vorgang adressiert werden, ist zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden zunächst die Mengen beschrieben, die dem Modellierungskonzept zu Grunde liegen. Daraufhin folgt eine Beschreibung der Relationen, die neben der Spezifikation der Mengen als Input erforderlich sind. Abschließend wird gezeigt, welche Operationen erforderlich sind, um aus dem gegebenen Input den Netzplan zu berechnen und welche weiteren Auswertungen man vornehmen kann.

2.1 Mengen

Die Komplexität im Rahmen der Modellierung von Prozessen resultiert im Wesent-

lichen aus der Bewältigung von Massendaten. Bei der Entwicklung eines Modellierungsansatzes ist es daher erforderlich, die Modellinformationen auf geeignete Art und Weise zu strukturieren, um gezielt und zuverlässig relevante Ausschnitte aus der Masse der Informationen hervorheben zu können. Vor diesem Hintergrund wird konsequent der Ansatz verfolgt, Informationen gleichen Typs zu Mengen zusammenzufassen und Mengen grundsätzlich durch geeignete Bäume zu strukturieren. Eine detaillierte Beschreibung der Anwendung von Strukturierungen auf Informationsmengen liefert die Veröffentlichung von Huhnt und Enge (2007).

Ausgehend von elementaren Informationseinheiten, die in Basismengen vorgehalten werden, lassen sich sukzessive prozessrelevante Informationen zusammensetzen. Zusammengesetzte Informationen ihrerseits erweitern den Wertevorrat, aus denen weitere Informationen abgeleitet werden können. Die Kombination unterschiedlicher Strukturierungen erlaubt es, das Modellieren zielgerichtet und zuverlässig durch Eingrenzen der Auswahl zu unterstützen.

Mengen wie Personen, Geräte usw. sind erforderlich, um Kapazitätsbetrachtungen, Auslastungsbetrachtungen oder andere Betrachtungen vornehmen zu können. Im Folgenden werden die Mengen eingeführt.

Zustände: Zustandsvariable beschreiben charakteristische Entwicklungsstände im Herstellungsprozess von Bauteilen. Voraussetzungen und Ergebnisse eines Vorgangs lassen sich als Tupel, bestehend aus Bauteil und Zustand, differenziert und eindeutig ausdrücken. Zustandsvariablen werden in der Menge *Zustände* verwaltet.

Elementare Vorgänge: Dem Erreichen eines Zustands geht ein zeitforderndes Geschehen voraus. Dieses wird durch einen elementaren Vorgang modelliert. Elementare Vorgänge und Zustandsvariable treten grundsätzlich in Korrelation auf. Die Attribute eines elementaren Vorgangs umfassen projektunabhängige Informationen wie Aufwandswerte, Angaben über die Qualität erforderlicher Ressourcen und ähnliches. Informationen, die sich auf elementare Vorgänge beziehen, werden in Objekten zusammengefasst und in der Menge *Elementare Vorgänge* verwaltet.

Bauteiltypen: Ein Bauteiltyp besteht aus einer Menge an Zustandsvariablen, die mit Hilfe einer Ordnungsrelation strukturiert ist. Die Ordnungsrelation definiert Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen in der Menge der Zustandsvariablen, sodass

das Gebilde genutzt werden kann, um Teilprozesse abzuleiten. Diese Teilprozesse beschreiben den Herstellungsprozess für Bauteile eines bestimmten Bauteiltyps. Informationen, die sich auf einzelne Bauteiltypen beziehen, werden in Objekten zusammengefasst und in der Menge *Bauteiltypen* verwaltet.

Bauteile: Ein Gebäude lässt sich zerlegen in seine Bauteile, z.B. *Wand*, *Stütze* oder *Fundament*. Ein Bauteil hat im Wesentlichen Abmessungen und Materialeigenschaften. Informationen, die sich auf einzelne Bauteile beziehen, werden in Objekten zusammengefasst und in der Menge *Bauteile* verwaltet.

Personen: Vorgänge, die in einem Ausführungsterminplan aufgeführt sind, stellen Leistungen dar, die von Personen erbracht werden müssen. Informationen, die sich auf Personen beziehen, werden in Objekten zusammengefasst und in der Menge *Personen* verwaltet.

Equipment: Die Erbringung einer Bauleistung erfordert zum Teil den Einsatz von technischem Gerät. Informationen, die sich auf spezielle Arbeitsmittel, Maschinen oder andere Baustelleneinrichtungsgegenstände beziehen, werden in Objekten zusammengefasst und in der Menge *Equipment* verwaltet.

Vorgänge: Elementare Vorgänge werden als projektunabhängige Informationen benötigt, um auf der Grundlage der Bauteiltypen Teilprozesse zu generieren. In dem Moment, in dem ein Teilprozess infolge der Zuordnung zu einem konkreten Bauteil eines speziellen Projekts in den zu modellierenden Ausführungsprozess als Komponente übertragen wird, wird für jeden *elementaren Vorgang* ein *Vorgang* erzeugt. Ein *Vorgang* unterscheidet sich von einem *elementaren Vorgang* dahingehend, dass er sich auf ein bestimmtes Bauteil bezieht, und somit projektspezifische Informationen zur Verfügung stellen kann wie z.B. seine Dauer. Die Dauer berechnet sich auf der Grundlage eines Aufwandswerts, der aus dem Bauteiltyp kommt, einer Menge, die aus einem bestimmten Bauteil kommt, und einer Angabe bezüglich der Ressourcen, die aus dem Vorgang selbst kommt. Hierfür ist es erforderlich, dass diese Objekte mit dem Vorgang in Beziehung stehen. In Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird auf die erforderlichen Relationen im Detail eingegangen. Informationen, die sich auf einzelne Vorgänge beziehen, werden in Objekten zusammengefasst und in der Menge *Vorgänge* verwaltet.

Die Mengen *Zustände*, *elementare Vorgänge* und *Bauteiltypen* stellen projektunabhängige Informationen dar. Sie werden einmal angelegt und stehen dann für jedes weitere Projekt als Stammdaten zur Verfügung. Insbesondere die Menge der Bauteiltypen ist für ein Unternehmen von besonderer Bedeutung, da sich hierin die Erfahrung vergangener Projekte ansammelt und diese einen Einfluss auf die Modellierung zukünftiger Projekte hat. Die anderen Mengen enthalten rein projektspezifisch Informationen.

2.2 Relationen

Die Spezifikation eines Ausführungsprozesses erfordert Eingabeaufwand. Neben der Benennung der Elemente der genannten Mengen besteht dieser in der Angabe von Relationen. Im Folgenden werden diejenigen Relationen genannt, die anzugeben sind, um alle Weiteren auf ihrer Grundlage zu berechnen.

Elementarer Vorgang – Zustand: Ein elementarer Vorgang beschreibt eine Tätigkeit, die ein Bauteil in einen Zustand versetzt. Dieser Zusammenhang wird durch eine 1:1 Beziehung ausgedrückt. Die Beziehungen werden in der Relation R_{eV-Z} zusammengefasst.

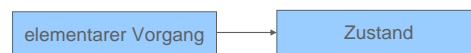


Bild 2.3: Relation R_{eV-Z} : Elementarer Vorgang – Zustand

Für die Menge der elementaren Vorgänge ist kein Eingabeaufwand erforderlich. Es existieren bereits umfangreiche Datensammlungen wie beispielsweise das *Standard Leistungsbuch Bau* (STLB-Bau (2007)), auf die über Schnittstellen zugegriffen werden kann. Korrespondierende Zustandsvariablen sind einmalig anzugeben und stehen dann projektübergreifend zur Verfügung.

Bauteiltypen: Ein Bauteiltyp stellt eine Relation in einer Teilmenge von Zustandsvariablen dar. Die Relation beschreibt, in welcher Abfolge die einzelnen Zustände im Herstellungsprozess eines Bauteils erreicht werden. Das Gebilde lässt sich als gerichteter zyklensfreier Graph darstellen. Bild 2.4 zeigt einen Bauteiltypen, der den Herstellungsprozess einer Trockenbauwand mit unterschiedlichen Wandaufbauten je Oberfläche beschreibt.

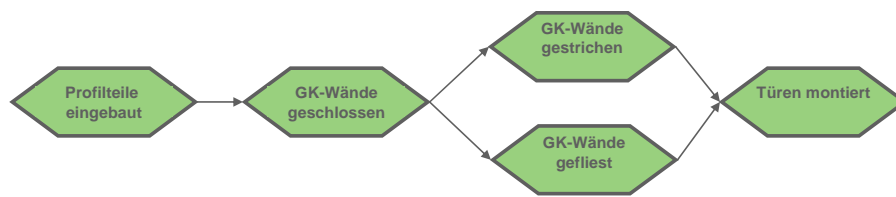


Bild 2.4: Relation R_{Z-Z} : Zustand – Zustand

Die Beziehungen zwischen den Zustandsvariablen werden in der Relation R_{Z-Z} zusammengefasst. Bauteiltypen sind einmalig zu entwickeln und stehen dann projektübergreifend zur Verfügung.

Bauteiltyp – Bauteil: Die Zuordnung eines Bauteiltyps zu einem Bauteil legt für ein Bauteil das vorgesehene Herstellungsverfahren fest. Ein Bauteiltyp kann n Bauteilen zugeordnet werden, jedoch kann einem Bauteil nur ein Typ zugeordnet werden. Es handelt sich somit um eine $1:n$ Beziehung. Die Beziehungen zwischen Bauteiltypen und Bauteilen werden in der Relation R_{BT-B} zusammengefasst.

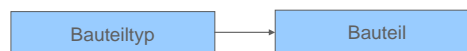


Bild 2.5: Relation R_{BT-B} : Bauteiltyp – Bauteil

Zerlegt man das Bauwerk in einzelne Bauteile und ordnet ihnen jeweils einen Bauteiltyp zu, so besteht bereits zu diesem Zeitpunkt die Möglichkeit, auf der Grundlage der Relationen R_{eV-Z} , R_{Z-Z} , R_{BT-B} ein Grundgerüst für den Ausführungsprozess eines konkreten Projekts abzuleiten. Für jedes Bauteil wird über seinen Typ der Herstellungsprozess ermittelt, seine Parameter werden dem Bauteil entsprechend angepasst und daraufhin als Komponente in den Ausführungsprozess aufgenommen. Das resultierende Gebilde stellt einen bipartiten Graphen bestehend aus n unabhängigen Komponenten dar, wobei n die Anzahl der im Projekt auftretenden Bauteile ist.

Die Knotenmenge besteht aus Vorgängen und Bauteilen in Zuständen. Die Kanten repräsentieren Beziehungen im Sinne von Voraussetzungen bzw. Ergebnissen. Diejenigen Kanten, die einen Vorgang mit einem Bauteilzustand verbinden stellen Ergebnisse dar. Diejenigen, die umgekehrt einen Bauteilzustand mit einem Vor-

gang verbinden, stellen Voraussetzungen dar. Kanten zwischen Knoten derselben Menge existieren nicht. Die in Bild 2.6 links dargestellte Relation stellt die Situation vor der Spezifikation weiterer Beziehungen dar. Die hervorgehobenen Submatrizen unten links, heben diejenigen Bereiche hervor, die sich zeilen- wie spaltenweise auf dasselbe Bauteil beziehen. Die Struktur der jeweiligen Submatrix entspricht der Struktur des zugeordneten Bauteiltyps. Die hervorgehobene Submatrix oben rechts hat die Struktur einer Identitätsmatrix. Dies ist auf die Eineindeutigkeit der Abbildung zwischen elementaren Vorgängen und Zuständen zurückzuführen. Würde man auf der Grundlage dieses Spezifikationsstandes mit Hilfe der Netzplantechnik einen Terminplan berechnen, würde der Herstellungsprozess aller Bauteile parallel angeordnet werden. Es ist daher notwendig weitere Voraussetzungen zu spezifizieren.

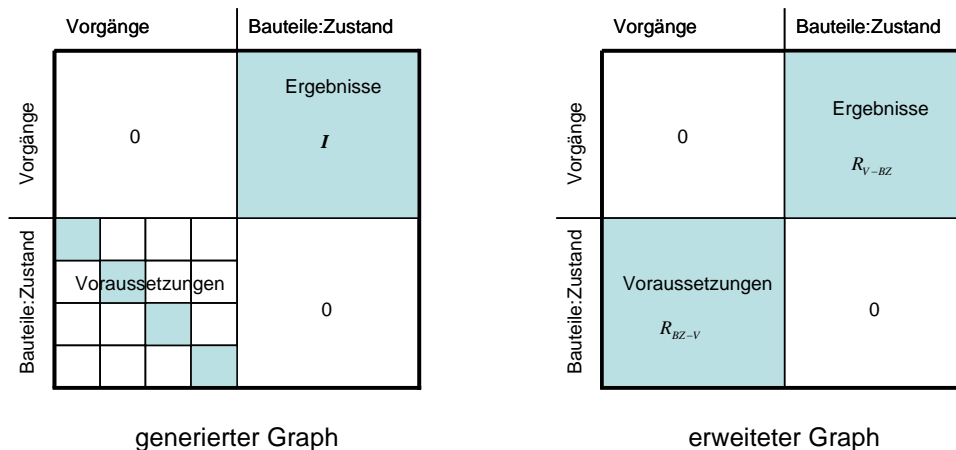


Bild 2.6: Bipartiter Graph: Vorgänge und Bauteile in Zuständen

Der verbleibende Aufwand der Spezifikation begrenzt sich somit auf die Angabe von Voraussetzungen, die Vorgänge unterschiedlicher Komponenten (Teilprozesse) in Beziehung setzen.

Vorgang – Bauteil in Zustand: Beziehungen zwischen Vorgängen und Bauteilzuständen stellen Voraussetzungen dar. Die Menge der Voraussetzungen muss um genau die Beziehungen ergänzt werden, für die sich das Bauteil der Voraussetzung eines Vorgangs von dem Bauteil des Ergebnisses unterscheidet. Hierdurch entstehen Koeffizienten in der Submatrix der Voraussetzungen, die das rasterhafte Schema auflösen. Dies ist in Bild 2.6 rechts zum Ausdruck gebracht worden.

Bauteil in Zustand – Vorgang: Ein Zusammenfassen von mehreren einzelnen Vorgängen zu einem Vorgang würde den oben genannten Effekt weiter fortsetzen und darüber hinaus die quadratische Form der Submatrizen aufheben. Entsprechend würde die erwähnte Identitätsmatrix verloren gehen.

Bauteil in Zustand – Equipment: Für das Erreichen eines konkreten Bauteilzustands sind gegebenenfalls Maschinen oder Geräte erforderlich, deren Einsatz planerisch berücksichtigt werden muss. Dies erfolgt durch die Zuordnung von Elementen der Menge *Equipment* zu konkreten Bauteilzuständen, die in einem Projekt auftreten. Einem Bauteilzustand können mehrere Maschinen oder Geräte zugeordnet werden. Es handelt sich somit um eine $n:m$ Beziehung. Die Beziehungen werden in der Relation R_{BZ-E} zusammengefasst.

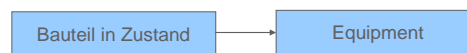


Bild 2.7: Relation R_{BZ-E} : Bauteil in Zustand – Equipment

Vorgang – Person: Vorgänge sind von Personen zu bearbeiten. Die Angabe der Personen, die für die Ausführung eines Vorgangs vorgesehen sind, erfolgt durch die Spezifikation von Beziehungen zwischen Vorgängen und Personen. Hierbei handelt es sich um $n:m$ Beziehungen. Die Beziehungen werden in der Relation R_{V-P} zusammengefasst.



Bild 2.8: Relation R_{V-P} : Vorgang – Person

2.3 Berechnung ausgewählter Relationen

Durch Anwendung der in der Graphentheorie definierten Methoden und Algorithmen lässt sich der spezifizierte bipartite Graph überführen in einen Graphen, dessen Knotenmenge nur noch aus Vorgängen besteht und dessen Kantenmenge die Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen in der Menge der Vorgänge repräsentieren.

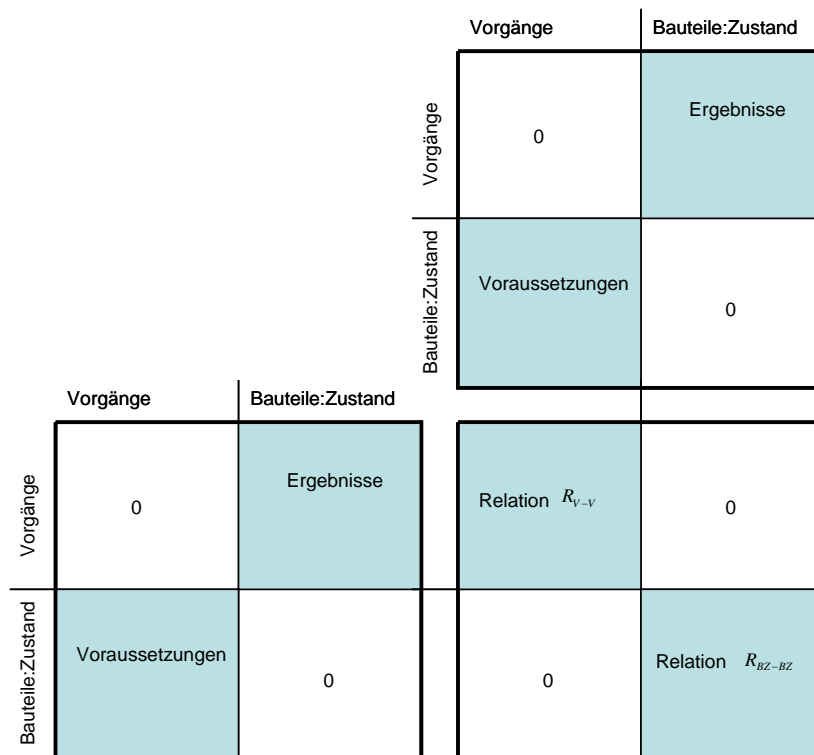


Bild 2.9: Falsches Schema zur Berechnung der Relationen R_{V-V} und R_{BZ-BZ}

Bild 2.9 zeigt ein Falsches Schema, das das Produkt der Relation des bipartiten Graphen mit sich selbst darstellt. Das Ergebnis ist eine Relation, die nur den Wegen der Länge *zwei* des zugrunde liegenden Graphen entspricht. Dieses sind die Beziehungen zwischen Vorgängen bzw. zwischen Bauteilzuständen.

Die Relation R_{V-V} stellt einen klassischen Netzplan dar, der die Grundlage für die Terminplanung bildet. Dieser Netzplan ist ein Rohling. Die Menge der Abhängigkeiten umfasst alle technologischen Abhängigkeiten, die sich aus den gewählten Bauverfahren und dem Zusammenhang der Bauteile ergeben. Im Gegensatz zu der klassischen Herangehensweise, Abhängigkeiten zwischen Vorgängen vom Benutzer spezifizieren zu lassen, stellt die hier bestimmte Menge der Abhängigkeiten ein Berechnungsergebnis dar. Die Relation R_{BZ-BZ} stellt im übertragenen Sinne den Bauteiltyp des gesamten Projektes dar.

Abfolge der Vorgänge: Die Berechnung des Netzplans auf der Grundlage der Relation R_{V-V} führt zur Bestimmung der für die Netzplantechnik charakteristischen

Zeitpunkte FA, FE, SA, SE und Puffer FP und GP. Das Ergebnis erlaubt die Darstellung der Abfolge der Vorgänge. Ist diese bekannt, lassen sich weitere Auswertungen berechnen, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Entwicklung der Bauteilzustände: Bild 2.6 zeigt die Herkunft der Relationen R_{BZ-V} und R_{V-BZ} . Durch die Kenntnis der Abfolge der Vorgänge lässt sich für die Bauteile angeben, wann sie welchen Entwicklungszustand erreichen. Die Entwicklung der Bauteilzustände stellt die Verknüpfung von Terminplaninformationen und Produktmodellinformationen dar, die für eine 4D-Animationen erforderlich ist. Bei klassischen Modellierungskonzepten ist diese Verknüpfung nicht enthalten. Sie wird üblicher Weise durch eine getrennte Eingabe manuell hergestellt. Hierin besteht ein enormer Aufwand.

Ressourcenauslastung: Die Ressourcenauslastung ergibt sich aus der Kenntnis, wann welche Ressourcen in welchem Umfang für den Prozess erforderlich sind. Diese Information lässt sich auf der Grundlage der Abfolge der Vorgänge und der Relation R_{V-P} berechnen.

Equipmantauslastung: Die Auslastung des Equipments berechnet sich unter Berücksichtigung der Abfolge der Vorgänge und der Relationen R_{V-BZ} und R_{BZ-E} . Durch das Produkt der Relationen lässt sich der Zusammenhang zwischen einem Vorgang und dem erforderlichen Equipment bestimmen.

3 Anwendungsbeispiel

Am Beispiel eines Tragwerks aus Stahlbeton soll gezeigt werden, wie das hier beschriebene Modellierungskonzept angewendet wird, um einen Rohling eines Ausführungsterminplans zu generieren. Es handelt sich hierbei um ein Beispiel, das das zugrunde liegende Prinzip veranschaulichen soll. Gegenstand des Projekts sind die Rohbauarbeiten im Zusammenhang der Herstellung eines 10-geschossigen Büroneubaus mit einem vorgelagerten Turmbauwerk. Der Ausführungsterminplan soll die Vorgänge zur Herstellung des Stahlbetonskeletts und der aussteifenden Kerne umfassen.

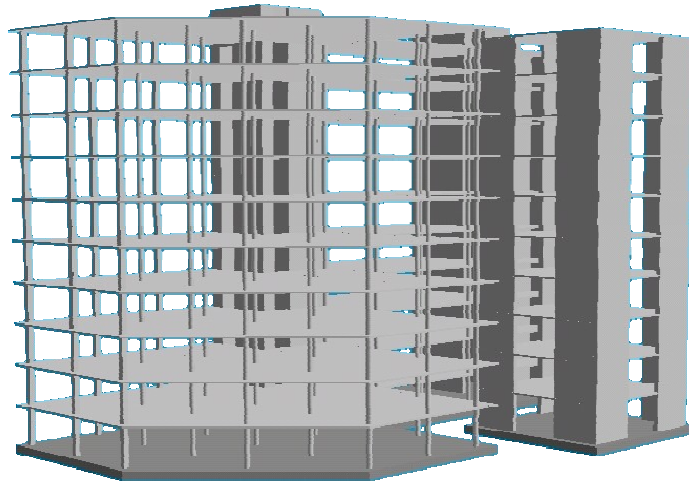


Bild 3.1: Beispiel Tragwerk aus Stahlbeton

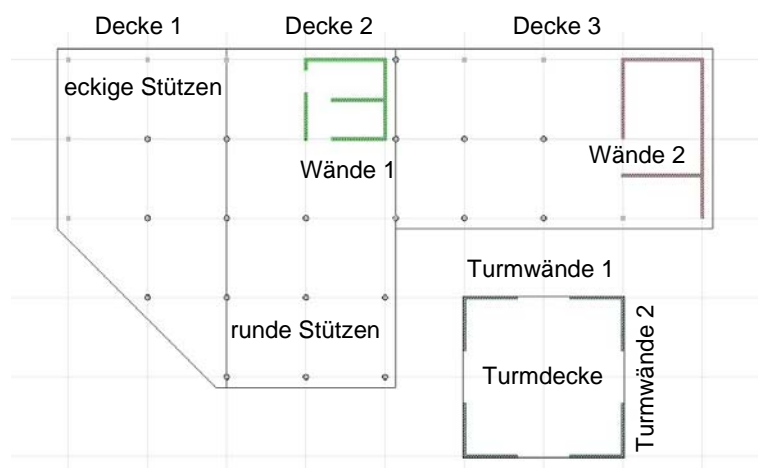


Bild 3.2: Grundriss und Zerlegung in Bauteile

Zunächst ist das Bauwerk in Bauteile zu zerlegen. Dies erfolgt etagenweise. Bild 3.2 zeigt stellvertretend für eine Etage, nach welchem Schema die Bauteile benannt werden. Bürogebäude und Turm werden getrennt betrachtet. Die Decke des Hauptgebäudes ist in drei Abschnitte eingeteilt. Alle runden Stützen werden als ein Bauteil zusammengefasst. Gleiches gilt für die eckigen Stützen. Die Wände, die zu einem Kern gehören, bilden zusammen ein Bauteil. Für den Turm werden die Wände nicht zusammen betrachtet. Hier wurden zwei Bauteile modelliert, wobei *Turmwände 1* die Wandabschnitte mit Ost-West-Ausrichtung und *Turmwände 2* die Wandabschnitte mit Nord-Süd-Ausrichtung zusammenfasst.

Summiert man die modellierten Bauteile über die 10 Etagen auf, so wurden insgesamt 101 Bauteile modelliert. Eines dieser Bauteile ist das Fundament, das nicht im Herstellungsprozess betrachtet wird. Jedes Bauteil erhält auf der Grundlage einer Kennzeichnungssystematik einen eindeutigen Bezeichner. Nachdem die Menge der Bauteile spezifiziert ist, bekommt jedes Bauteil einen Bauteiltypen zugeordnet.

Bild 3.3 zeigt die verwendeten Bauteiltypen Decken, Stützen und Wände

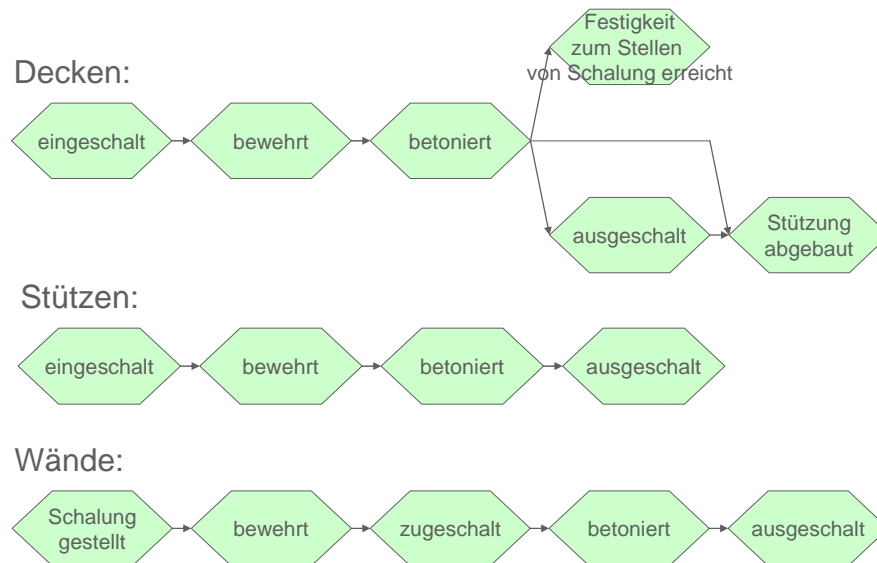


Bild 3.3: Verwendete Bauteiltypen

Auf der Grundlage der Bauteile und der Bauteiltypen wird der in Bild 2.6 links dargestellte bipartite Graph generiert. Dieser ist um weitere Voraussetzungen zu erweitern, und gegebenenfalls sind die Vorgänge anwenderspezifischen Erfordernissen anzupassen. Das Ergebnis der Überarbeitung ist der in Bild 2.6 rechts dargestellte bipartite Graph. Die Menge der Vorgänge besteht aus 500 Elementen.

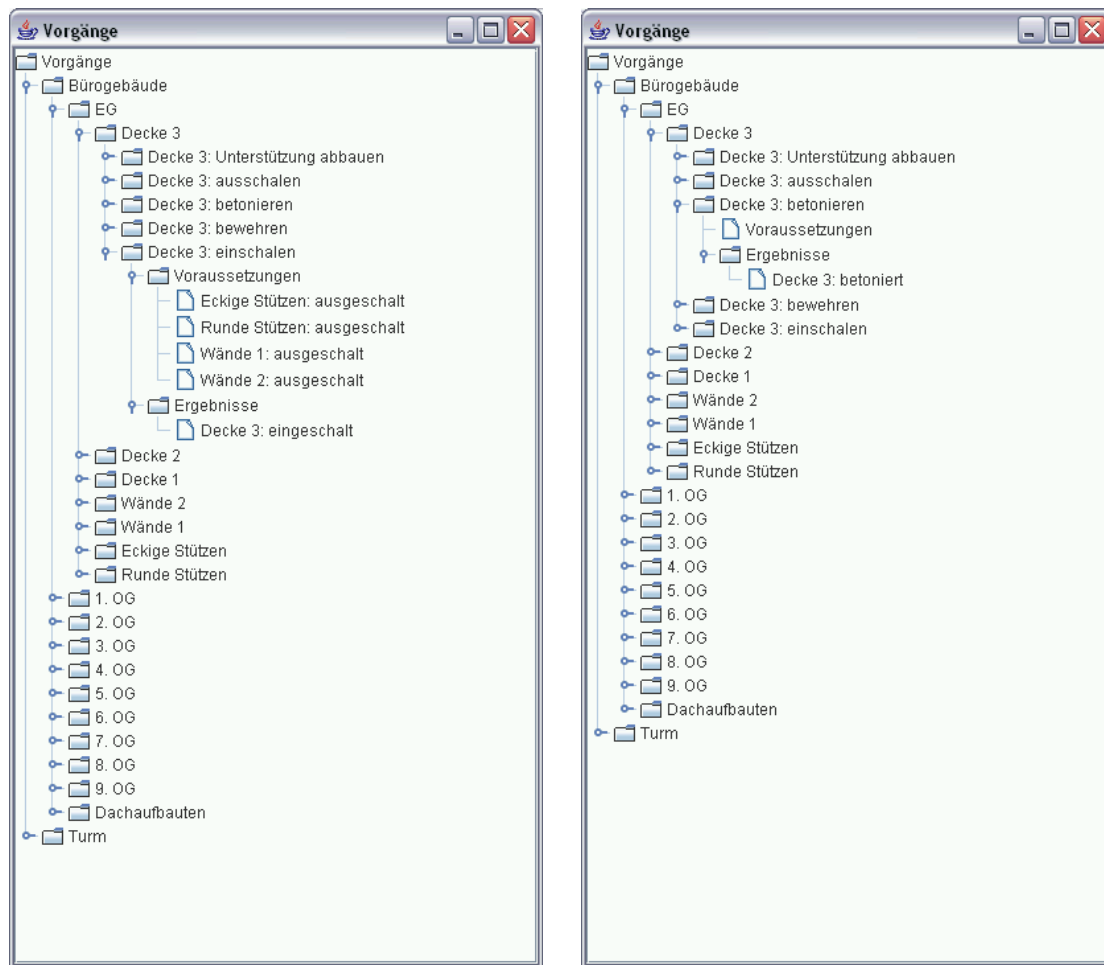


Bild 3.4: Spezifikation der Vorgänge

Bild 3.4 zeigt für den Vorgang *Decke 3 einschalen* (links) und den Vorgang *Decke 3 betonieren* (rechts) den erforderlichen Spezifikationsaufwand. Für den Vorgang *Decke 3 einschalen* (links) sind Voraussetzungen zu spezifizieren, die sich nicht auf Bauteil *Decke 3* beziehen. Dieses sind: (1) Die *eckigen* und (2) die *runden Stützen*, sowie (3) die *Wände 1* und (4) die *Wände 2* des Erdgeschosses müssen ausgeschalt sein. Für den Vorgang *Decke 3 betonieren* (rechts) sind keine Voraussetzungen aus anderen Bauteilen zu spezifizieren. Die erforderliche Voraussetzung *Decke 3* im Zustand *bewehrt* ist bereits durch den Bauteiltyp bekannt und somit nicht explizit als Input vom Benutzer einzugeben. Insgesamt mussten 205 Voraussetzungen spezifiziert werden. Bild 3.5 zeigt das Ergebnis des berechneten Terminplans exportiert nach MS-Project. Hierbei sind entsprechende Dauern und Wartezeiten mit berücksichtigt.

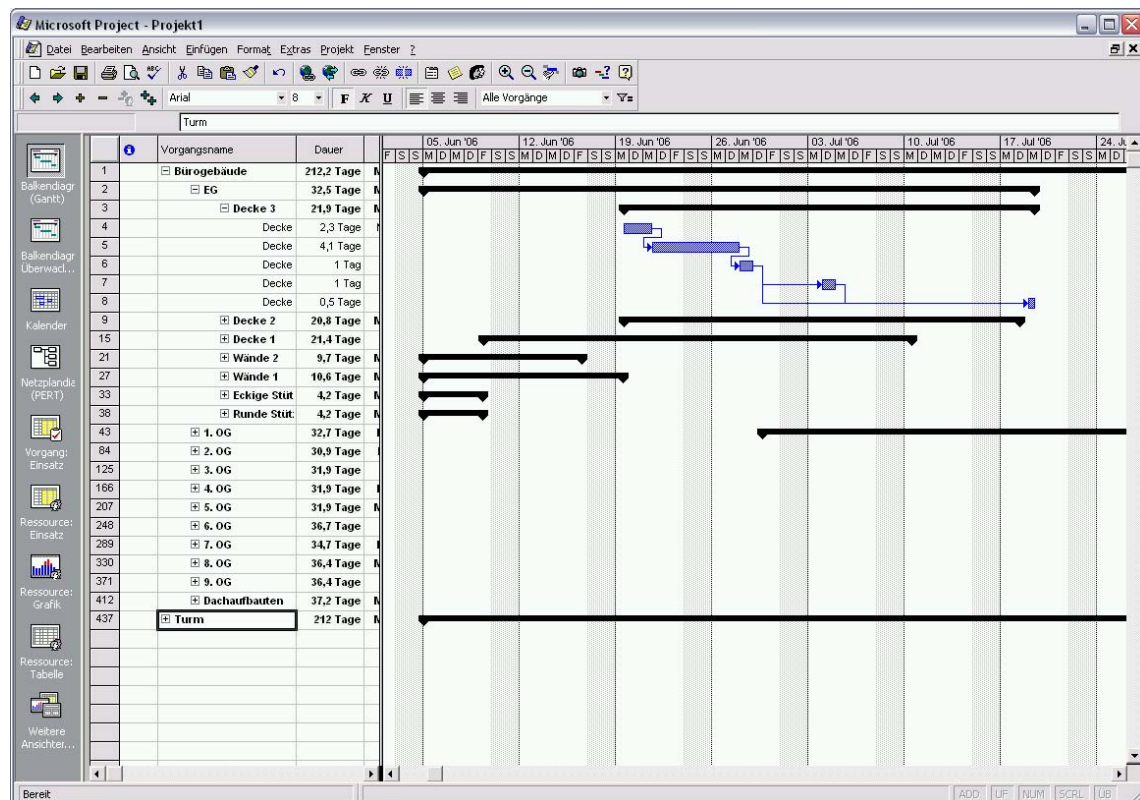


Bild 3.5: Terminplan auf der Grundlage der technologischen Abhängigkeiten

Der mit den Bauteilen über Relationen verknüpfte Terminplan lässt sich ohne weiteren Spezifikationsaufwand visualisieren. Bild 3.6 zeigt eine 4D-Animation, bei der die Bauteile in Abhängigkeit der Art der Tätigkeit für zwei unterschiedliche Zeitpunkte dargestellt sind.

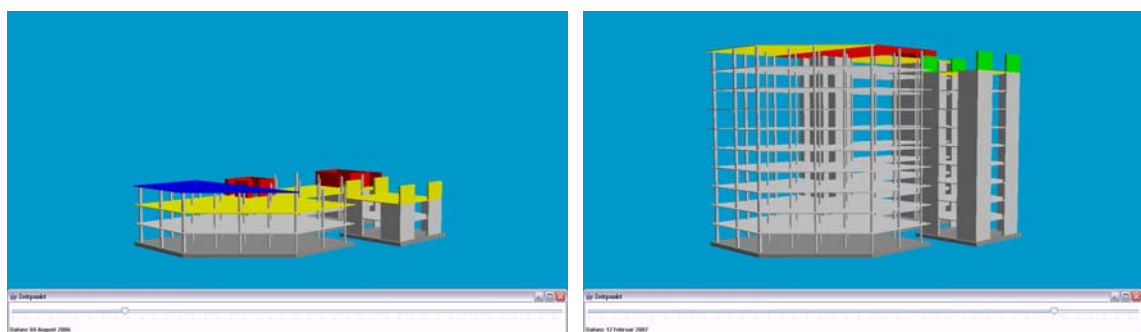


Bild 3.6: 4D-Animation auf der Grundlage der technologischen Abhängigkeiten

4 Zusammenfassung

Die hier vorgestellte Methodik ändert die Herangehensweise bei der Erstellung von Ausführungsterminplänen. In einem ersten Schritt werden technologische Abhängigkeiten betrachtet. Diese werden jedoch nicht direkt durch den Menschen vorgegeben, sie werden auf der Grundlage der Beschreibung eines jeden Vorgangs nach Regeln der Relationenalgebra ausgerechnet. Der Bearbeiter muss in einem ersten Schritt das Bauwerk zerlegen in Bauteile und alle Vorgänge so durcharbeiten, dass für jeden Vorgang seine Voraussetzungen und seine Ergebnisse spezifiziert sind. Voraussetzungen und Ergebnisse sind Bauteile in bestimmten Zuständen. Abhängigkeiten zwischen den Vorgängen sind nicht vorzugeben. Beim Durcharbeiten der Vorgänge ist jeder Vorgang individuell zu betrachten.

Durch Anwendung der in der Graphentheorie definierten Methoden und Algorithmen lässt sich der spezifizierte Graph überführen in einen klassischen Netzplan. Der resultierende Terminplan ist ein Rohling. Lediglich technologische Abhängigkeiten sind in ihm enthalten. Im Gegensatz zu der klassischen Herangehensweise, Abhängigkeiten zwischen Vorgängen vom Benutzer spezifizieren zu lassen, stellt die hier bestimmte Menge der Abhängigkeiten ein Berechnungsergebnis dar. Diese Menge der Abhängigkeiten umfasst diejenigen Abhängigkeiten, die sich aus den gewählten Bauverfahren und dem Zusammenhang der Bauteile ergeben.

Simulationen erfordern zugrunde liegende Modelle. Die hier beschriebene Modellierungstechnik ist in besonderer Art und Weise geeignet, die erforderlichen Modelle bereitzustellen.

5 Ausblick

Der Spezifikationsaufwand von Ausführungsprozessen infolge der Anwendung des hier beschriebenen Verfahrens hängt stark von den Teilprozessen ab, die als Bauteiltypen in die Modellierung einfließen. Da diese aus der Anschauung heraus für eine projektübergreifende Verwendung entwickelt werden, ist nicht sichergestellt, dass die enthaltenen Teilprozesse aus dem Blickwinkel des Spezifikationsaufwands günstig bzw. optimal sind. Ein Ziel von aktuellen Forschungsarbeiten am Fachgebiet ist es, einen Formalismus zu entwickeln, der für vergleichbare Projekte optimale Bauteiltypen zurückrechnet. Bauteiltypen werden als optimal definiert,

wenn ihre Anwendung im Rahmen des oben beschriebenen Modellierungskonzeptes dazu führt, dass die Anzahl der Relationen, die vom Benutzer im Rahmen der Modellierung spezifiziert werden müssen, minimal ist. Die Herangehensweise zur Bestimmung optimaler Bauteiltypen stellt eine Umkehrung des Modellierungsansatzes dar. Gegeben ist eine Menge an Netzplänen, und gesucht ist eine Zerlegung der Graphen in Teilgraphen. Es gilt Teilgraphen zu finden, die sich möglichst oft wiederholen und dabei nicht zu klein werden. Diese Fragestellung kann als Mustererkennung in Graphen aufgefasst werden, dessen Lösungsaufwand in der Literatur mit np -vollständig angegeben wird. Die aktuellen Untersuchungen am Fachgebiet konzentrieren sich darauf, sich bei dem Aufspüren der Muster die Kenntnis über die Kanten der Graphen zu nutze zu machen, um der Komplexität des Lösungsaufwands Herr zu werden.

Nur wenn es gelingt den Aufwand bei der Bereitstellung von komplexen Modellen für ihre Auswertung zu reduzieren, werden sich Simulationsmethoden für die Optimierung der verschiedenartigsten Problemstellungen in der Breite anwenden lassen. Die Anbindung von Simulationsmethoden an die hier vorgestellte Modellierungstechnik ist Gegenstand zukünftiger Arbeiten.

Literatur

Aalami, Levitt und Fischer (1998): „A Customizable Representation for Construction Method Models“, Working Paper Nr. 51, CIFE, Stanford University, Stanford, CA

Brandenberger und Ruosch (1993): „Ablaufplanung in Bauwesen“ 3. Auflage, Bau-fachverlag, ISBN:3-85565-222-8, Dietikon, 1993

Dzeng und Tommelein (1993): „Using Product Models to Plan Construction“, Proc. 5th Intl. Conf. On Comp. in Civil and Building Engrg., June 7-9, Anaheim, CA, ASCE, New York, NY, pp. 1778-1785

Dzeng und Tommelein (1997): „Boiler Erection Scheduling Using Product Models and Case-Based Reasoning“, J. of Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 123(3), pp. 338-347

Enge (2005): „Zustandsmodellierung als Grundlage für Ausführungsterminpläne“, in: Schley, F., Weber, L. (Hrsg): Forum Bauinformatik, Cottbus, 2005, Seite 123-130

Fischer und Aalami(1996): „Scheduling with Computer-Interpretable Construction Method Models“, J. of Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 122(4), pp. 337-347

Hendrickson, Zozaya-Gorostiza, Rehak, Baracco-Miller und Lim (1987): „Expert System for Construction Planning“, J. of Comp. in Civil Engrg., ASCE, 1(4), pp. 253-269

Huhnt und Enge (2007).

Navinchandra, Sriram und Logcher (1988): „GHOST: Project Network Generator“, J. of Comp. in Civil Engrg., ASCE, 2(3), pp. 239-254

STLB-Bau (2007): “STLB-Bau Dynamische BauDaten”, GAEB – Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen, <http://www.gaeb.de>, 27.02.2007

Winstanley, Chacon und Levitt (1993): „An Integrated Project Planning Environment“, International Journal of Intelligent Systems Engineering, Vol 2, No.2, pp. 91-106

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gert Zülch

und

Dipl.-Ing. Mikko Börkircher

Simulationsbasierte Analyse von Störungen im Baubetrieb

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gert Zülch

Dipl.-Ing. Mikko Börkircher

Universität Karlsruhe (TH)

Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab)

Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	53
1	Störungen bei Bauabläufen.....	53
2	Vorliegende Untersuchungen zu Bauablaufstörungen	55
3	Entwickelte Störungsdatenbank	56
4	Anwendung der Datenbank und Ergebnisse	58
5	Nutzung der Störungsdatenbank zur Simulation	60
6	Zusammenfassung und Ausblick	65
	Literatur	66

Kurzfassung

Die Produktion auf Baustellen wird außer durch externe Einflüsse wie Witterung, Baugrund, Lagerflächen sowie Verkehrsbedingungen auch durch interne Faktoren, vor allem die Qualifikation des eingesetzten Personals und die Zuverlässigkeit von Nachunternehmern beeinflusst. Diese Faktoren sind stochastisch, also im Voraus nicht planbar und erschweren somit in starkem Maße den Bauablauf. Eine Möglichkeit, die Planung der Bauproduktion zu unterstützen und damit Bauabläufe abzusichern, ist u.a. der Einsatz der Simulation. Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes wurde die Simulation von Bauabläufen um die Erfassung von Bauablaufstörungen und deren Auswirkungen erweitert. Hierfür wurde eine Datenbank entwickelt, mit der auf verschiedenen Baustellen Störungen erfasst und klassifiziert werden können. Diese Störungsdatenbank lässt sich als erweiterbare Datenbasis in ein simulationsbasiertes Planungstool integrieren, sodass es möglich wird, Störungen parametrisiert in einem modellierten Bauablauf zu berücksichtigen.

1 Störungen bei Bauabläufen

Die Produktion auf der Baustelle ist nur bedingt bis ins Detail planbar. Neben externer Einflüsse, wie beispielsweise Witterung, Baugrund, Lagerflächen sowie Verkehrsbedingungen, trägt eine Vielzahl von internen Einflüssen, wie fehlende Planungsunterlagen und Materialfehler, zu Störungen der Bauproduktion bei. Die einzelnen Störungen wirken sich unterschiedlich auf den Bauablauf aus. So hat z.B. ein Planungsfehler, der den Abriss einer Stahlbetonwand nach sich zieht, einen stärkeren Effekt auf monetäre und bauphysikalische Zielgrößen als eine um wenige Minuten verspätete Frischbetonanlieferung.

Nach *REFA* (vgl. 1991a, S. 424) sind Störungen "Ereignisse, die unerwartet eintreten und eine Unterbrechung oder zumindest Verzögerung der Aufgabendurchführung zur Folge haben; sie bewirken eine wesentliche Abweichung der Ist- von den Soll-Daten". Die Ursache einer solchen Soll-Ist-Abweichung wird Störgröße genannt. Soll-Daten in der Baustellenproduktion beziehen sich zumeist auf den zeitlichen und kostenmäßigen Ablauf. In der Regel werden nach der Festlegung des

Fertigstellungstermins und somit der Baudauer die Bauverfahren und Ressourcen geplant. Die Planung ist im Allgemeinen sehr grob, was bewirkt, dass eine tägliche Aufgabenplanung und Kontrolle selten durchgeführt wird. Die Planung wird meist dem Polier übertragen, der bei entsprechenden Störungen zu reagieren hat. Aufgrund fehlender Rückmeldungen stehen die Ist-Daten für nachfolgende Bauausführungen nur in sehr grober Form zur Verfügung.

Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes wurden zur rechnerunterstützten Simulation von Bauabläufen Störungen erfasst, die während der Baustellenproduktion auftreten. Unter Bauabläufen soll im Folgenden der Gesamtablauf einer Baumaßnahme (z.B. Bauen eines Reihenhausblocks bzw. Reihenhauses) verstanden werden. Bauprozesse dagegen stellen Ausschnitte aus dem Gesamtablauf dar, wie z.B. das Betonieren eines Fundaments mit den einzelnen Vorgängen wie Einschalen, Bewehren, Betonieren und Ausschalen.

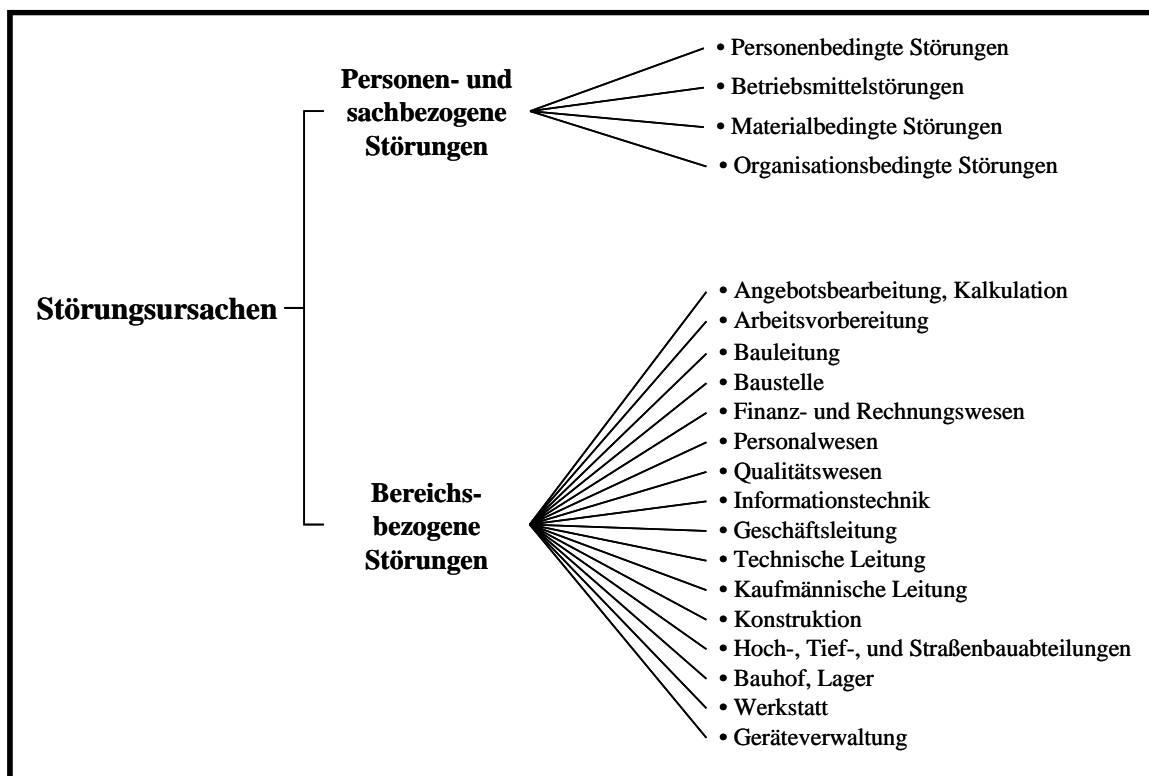


Bild 1.1: Störungsursachen in der Baustellenproduktion (in Anlehnung an REFA 1991a, S. 425)

Betriebliche Störungen können allgemein in externe, das heißt solche, die auf natürliche, staatliche oder marktwirtschaftliche Ereignisse zurückzuführen sind, und in interne Störungen unterschieden werden. Letztere treten in der Beschaffung

oder "im Verlaufe von Bauprozessen" auf (vgl. im Folgenden *REFA 1991a*, S. 424 ff.). Weiterhin können Störungen in personen- und sachbezogene Störungen sowie in bereichsbezogene Störungen eingeteilt werden. Bild 1.1 gibt einen Überblick über die Einteilung der Störungen in Bezug auf die Baustellenproduktion.

Grundlage zur Behebung von Störungen ist ihre Klassifizierung und Analyse. Durch die Aufgliederung der Störungsursache in einzelne Systemelemente wird diese eingegrenzt. Ist die Ursache bekannt, kann durch aktuelles Eingreifen die Wirkung gemildert oder die Störungsursache behoben werden.

Bei einer weitergehenden Betrachtung werden betriebliche Störgrößen in primäre oder induzierte unterschieden. Primäre Störgrößen sind Abweichungen, die durch unabhängige Handlungen desselben Bereichs entstehen. Sie liegen beispielsweise dann vor, wenn während des Betonierens einer Wand die Schalttafeln auseinandergehen, da die Montage von Schalungsschlössern vergessen wurde. Eine induzierte Störung hingegen liegt beispielsweise dann vor, wenn sich die Schalungsschlösser oder die Schalung selbst öffnen würde, weil der Schalungsdruck falsch berechnet wurde. Induzierte Störungen sind Abweichungen, die durch andere Bereiche hervorgerufen werden.

2 Vorliegende Untersuchungen zu Bauablaufstörungen

Störungen werden derzeit vornehmlich aus rechtlicher sowie vertraglicher Sicht untersucht und bewertet. Hierzu liegt eine große Anzahl von Untersuchungen vor (vgl. z.B. *Born 1980; Hornuff 2003; Husfeld 2006a, 2006b*). Eine Untersuchung der Störungen aus einer ganzheitlichen produktionstechnischen Sicht erfolgte bisher nur ansatzweise (vgl. *Lang 1988; Mitschein 1999*). Ein Grund hierfür mag u.a. der hohe personelle und wirtschaftliche Aufwand bei der Analyse und Auswertung von Bauablaufstörungen sein.

In der Praxis wird bisher auf unterschiedliche Art und Weise mit Störungen in der Baustellenproduktion umgegangen. Neben Fehlermeldungen, Fehler- bzw. Mängellisten, Checklisten usw. sind Erfahrungsberichte gängige Möglichkeiten, Fehler zu analysieren und zu beseitigen (vgl. *Haenes, Welsch 2004*).

Mit Hilfe der Datenbanktechnik können Störungen systematisch erfasst und klassifiziert werden. Beispiele hierzu gibt es u.a. bei *Haenes und Sauer (2004)*; mit die-

sen Verfahren ist es möglich, Bauablaufstörungen allgemein zu erfassen. Es werden hierbei produktionsorganisatorische und technische Störungen erfasst, wie z.B. Lieferverzögerungen oder Ausführungsfehler. Für diese Störungsarten berücksichtigen die Autoren jedoch keine detaillierten Daten, wie beispielsweise die Zeitpunkte des Auftretens von Störungen oder material-, personal- und betriebsmittelbedingte Auswirkungen auf nachfolgende Prozesse. Solche Daten werden aber u.a. dafür benötigt, bei ähnlichen Bauprojekten nicht wieder die gleichen Fehler zu begehen bzw. das Erfahrungswissen im Bauunternehmen beim Umgang mit Störungen sukzessive auszubauen.

Die bisherigen Verfahren setzen voraus, dass Bauleiter und Poliere aufgetretene Störungen erfassen. Ob dabei tatsächlich alle Störungen erfasst werden, auch die selbstverschuldeten, bleibt zu bezweifeln. Die Störungserfassungen im Rahmen des DFG-Projektes zeigten, dass die Auslegung des Begriffes Störung oft sehr unterschiedlich ist, insbesondere dann, wenn Soll-Daten nicht schriftlich vorliegen.

3 Entwickelte Störungsdatenbank

Zur detaillierten Untersuchung von Bauablaufstörungen wurde eine Datenbank erstellt, die auf Microsoft Access basiert. Microsoft Access ist ein PC-basiertes Datenbanksystem, das die Verwaltung von Daten und die Entwicklung von Datenbank Anwendungen ermöglicht. Die Daten werden dabei mittels eines standardisierten Hilfsmittels, einem "elektronischen Formular", erfasst und in Form von Tabellen verwaltet, die über Schlüssel (Primärschlüssel, Fremdschlüssel) miteinander verknüpft werden können. Der Primärschlüssel stellt die minimal identifizierende Attributmenge eines Entitytypen (Tabelle) dar. Darunter versteht man die minimale Anzahl der Spalten, die einen Datensatz (Zeile) eindeutig identifizieren. Attribute, die in einer Tabelle vorkommen und gleichzeitig in einer anderen Tabelle Primärschlüssel sind, werden als Fremdschlüssel bezeichnet.

Die Datenbank gliedert sich in die Bereiche "Bauvorhaben", "Störungserfassung", "Störungsbeseitigung" und "Störungsauswirkung". Im Bereich "Bauvorhaben" werden die allgemeinen, die Baustelle betreffenden Daten, wie beispielsweise Name des Projektes (mit kurzer Projektbeschreibung), Name des Bauherrn, Name des Bauunternehmens, Ort des Bauvorhabens, Sparte des Bauunternehmens (wie

Hochbau, Tiefbau, Straßenbau, Ingenieurbau, Stahlbau usw.) sowie Baubeginn und -ende, eingegeben.

Im Bereich "Störungserfassung" (vgl. Bild 3.1) wird neben der eigentlichen Beschreibung der Störung, der Zeitpunkt des Auftretens der Störung und ihre Dauer eingegeben. Weiterhin erfolgt eine Klassifizierung der Störung und ihrer Ursache nach REFA, wobei der Zeitpunkt des Auftretens der Störung in Relation zur Prozessdauer prozentual abgeschätzt wird. Dadurch kann u.a. überprüft werden, ob Störungen bei gleichen Prozessen zu gleichen Zeitpunkten auftreten.

Bild 3.1: Formular zur Störungserfassung

Das Formular "Störungsbeseitigung" enthält Informationen darüber, ob die Störung sofort oder später beseitigt werden kann und welche Maßnahmen hierfür erforderlich sind bzw. waren (z.B. Mehrarbeit, Einsatz eines Ersatzwerkzeuges, Austausch fehlerhaften Materials, Beschaffung fehlender Information usw.). Schnelles Eingreifen kann nur von den vor Ort (direkt auf der Baustelle) tätigen Personen durchgeführt werden. Dabei wird durch korrigierende Maßnahmen in den Arbeitsablauf eingegriffen mit dem Ziel, möglichst geringe Folgekosten zu erreichen. Je zeitnaher die Gegenmaßnahmen zum Störungsbeginn liegen, desto größer sind die Erfolgsaussichten für das Beheben der Störung.

Die zeitlichen und monetären Auswirkungen von Störungen auf die Ressourcen Mensch, Betriebsmittel und Material werden im Formular "Störungsauswirkung" dokumentiert. Zum einen werden die Kosten eingetragen, die durch Störungen entstanden sind. Bei den Ressourcen Personal, Betriebsmittel und Material sind das diejenigen Kosten, welche die Störung durch den Zeitverzug verursacht hat. Andererseits werden die Zeitverluste für die nachfolgenden Bauprozesse aufgeführt.

4 Anwendung der Datenbank und Ergebnisse

Unter Zuhilfenahme der Datenbank wurden auf drei Baustellen, die sich bei der Datenaufnahme im Rohbau befanden, Bauablaufstörungen erfasst. Bei den drei Untersuchungsobjekten handelte es sich um Baustellen unterschiedlicher Größe und mit unterschiedlichem Personaleinsatz. Er belief sich bei Baustelle A (Rohbau von insgesamt 117 Wohneinheiten) auf 30 Arbeiter, bei Baustelle B (Rohbau eines Wohnblocks mit 8 Wohneinheiten) auf 5 und bei Baustelle C (Geschäftshaus mit doppelstöckiger Tiefgarage) auf 12 Arbeiter. Während eines Untersuchungszeitraumes von 5 Wochen wurden insgesamt 140 Störungen in die Datenbank aufgenommen.

Auffallend bei allen Baustellen war, dass die internen Störungen überwogen: Im Durchschnitt waren über alle Baustellen hinweg bei 76 % der aufgetretenen Störungen die Ursachen auf der Baustelle zu finden. Die weitere Untergliederung der internen Störungen zeigt, dass 52 % auf personenbedingte und 47 % auf organisationsbedingte Ursachen zurückzuführen waren. Der Anteil der maschinenbedingten Störungen lag bei 1 %. Dieser niedrige Wert kann auf den geringen Maschineneinsatz bei Hochbaustellen zurückgeführt werden.

Als personenbedingte Störungen sind am häufigsten Wartezeiten sowie Abriss- und Nacharbeiten aufgrund von Planungs- oder Ausführungsfehlern zu nennen. Die Ursachen hierfür liegen häufig in Messfehlern oder in Unachtsamkeiten der Baubeteiligten.

Gründe für organisationsbedingte Störungen waren meist das Suchen nach Material oder Werkzeug sowie nicht ablaufbedingte Wartezeiten der Kräne. So traten auf einer Baustelle wiederholt Wartezeiten auf, die darauf zurückzuführen waren,

dass kein Kran für den Transport zur Verfügung stand. Die Ursache hierfür lag in Planungsfehlern.

Die Untersuchung der Störungen zeigte weiterhin, dass 76 % aller Störungen sofort behoben werden konnten und somit keine weiteren Wartezeiten nach sich zogen. Selbst Wartezeiten durch Lieferverzögerungen konnten durch andere Arbeiten, die ohnehin erledigt werden mussten, kompensiert werden. Die übrigen 24 % waren externe Störungen, wie beispielsweise eine Baustellenräumung aufgrund einer Bombenentschärfung und Ausfall eines Nachunternehmers aufgrund fehlender erforderlicher Sozialversicherungsausweise. Diese Störungen waren mit Wartezeiten und erheblichen Beeinträchtigungen der Produktion verbunden.

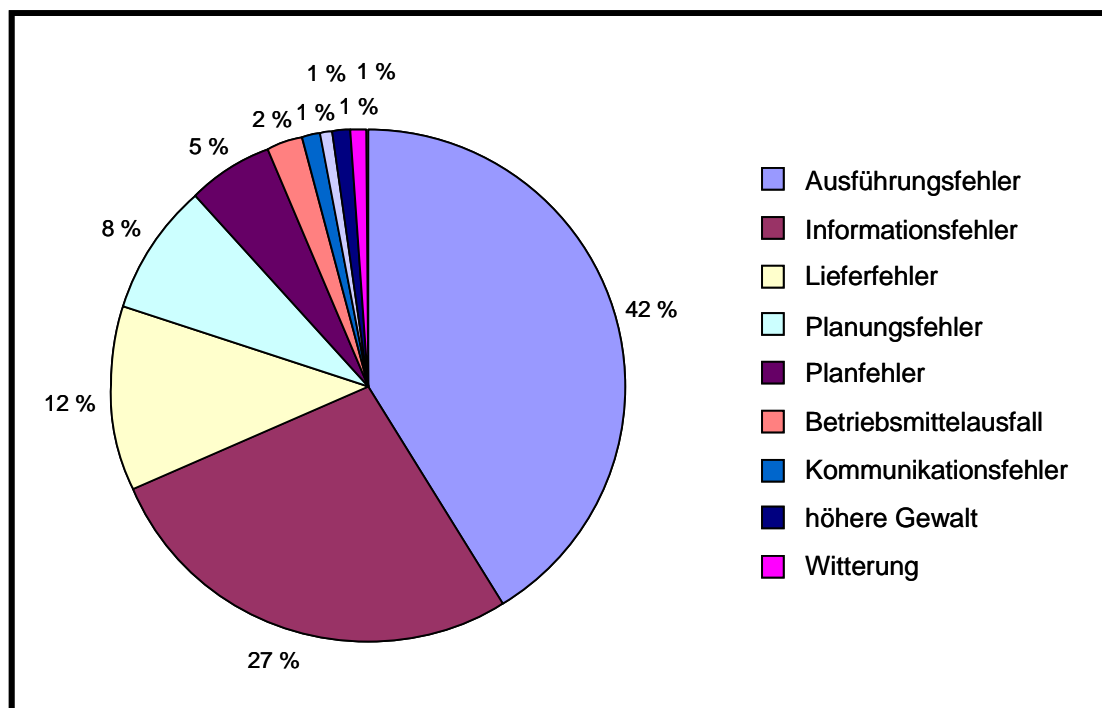


Bild 4.1: Aufgenommene Störungen der Baustelle A nach Ursachen

Die Auswirkungen der Störungen auf nachfolgende Gewerke reichten von wenigen Minuten bis zu über einem Tag. So erforderten in einem Fall fehlende Aussparungen für Rollladenkästen in Betonwänden zusätzliche Stemmarbeiten, die einen personellen Mehraufwand von 25 Mannstunden verursachten.

Für die Baustelle A sollen im Folgenden einige exemplarische Auswertungen auf Basis der Störungsdatenbank erläutert werden. Auf Baustelle A wurden im Zeitraum von fast 4 Wochen (20 Tage der Datenaufnahme) insgesamt 95 Bauablauf-

störungen aufgenommen. Diese Störungen werden in Bild 4.1 nach ihren Ursachen unterteilt.

Zu einem hohen Prozentsatz kamen Ausführungsfehler vor; 42 % aller Störungen konnten dieser Kategorie zugeordnet werden. Informationsfehler rangieren mit 27 % auf dem zweiten und Lieferfehler mit 12 % auf dem dritten Platz der Einteilung nach Störungsursachen. Für die drei ersten Kategorien sollen im Folgenden einige Beispiele aufgeführt werden:

Störungsursache Ausführungsfehler

- Nicht lot-recht geschalte Wände und Konsolen verursachen nach dem Betonieren Nacharbeiten.
- Nicht maßgenau hergestellte Aussparungen führen zu Nacharbeiten an Mauer- und Stahlbetonwänden sowie Decken.
- Überstehende Bewehrungseisen behindern Schalungsarbeiten.
- Verschmutzte Schalung führt zu aufwändigen Reinigungsarbeiten.
- Falsch positionierte Wände müssen abgerissen werden.

Störungsursache Informationsfehler

- In den Planunterlagen nicht eingezeichnete Aussparungen in Wänden und Decken sowie Anschlussbewehrungen haben falsche Ausführungen zur Folge.
- Fehlerhafte Ausführungspläne führen zu Stützen mit falschen Maßen.
- Fehlerhafte Adressenweitergaben verursachen Lieferverspätungen.

Störungsursache Lieferfehler

- Zu spät ankommende Fahrmischer verursachen Wartezeiten.
- Zu spät gelieferte Fertigteile führen zu Wartezeiten und zur Umgestaltung von Arbeitsabläufen.

5 Nutzung der Störungsdatenbank zur Simulation

Verglichen mit der industriellen Produktion von Stückgütern kann eine Baustelle zwar als Produktionssystem aufgefasst werden, jedoch mit dem Unterschied, dass sich bei einer Baustelle die Randbedingungen ständig ändern können. Außerdem stellt die Bauausführung einen sehr dynamischen Produktionsprozess dar, der auf externe und interne hervorgerufene Veränderungen (vgl. REFA 1991a, S. 424) reagieren muss.

Vor diesem Hintergrund rücken die im Bereich der Stückgüterindustrie gewonnenen Erfahrungen mit weiterführenden Planungsinstrumenten in den Blickpunkt. Ein Ansatz, der sich im Bereich der Stückgüterindustrie vielfach bewährt hat, ist die Simulation von Produktionssystemen. Mit ihrer Hilfe können quantitative Prognosen über die zu erwartende Produktionssituation sowie die Effektivität des Ressourceneinsatzes gemacht werden.

Werden bei zukünftigen, noch nicht existierenden Prozessen Informationen über das dynamische Verhalten einzelner Systemelemente oder des gesamten Systems benötigt (z.B. Verzögerung von Materiallieferungen, Veränderungen im Materialbedarf, Ausfall von Personalkapazität) oder ist ein Test an einem realen System aus bestimmten Gründen (z.B. Kosten, Gefährdungen, langfristige Auswirkungen) nicht möglich, so kann die Simulation auch für den Baubetrieb ein hilfreiches Instrument zur Analyse von Bauablaufstörungen und ihrer Auswirkungen sein.

Die vorgestellte Störungsdatenbank kann im Folgenden herangezogen werden, um die Leistungsfähigkeit von Bauunternehmen unter der Berücksichtigung von Bauablaufstörungen simulativ zu bewerten. Ein Ansatz ist es hierbei, Störungen (wie z.B. Schwankungen in Materialanlieferungen und im verfügbaren Personal, Maschinenausfälle, Nacharbeiten usw.) im Vorfeld der Bauausführung in einem Rechnermodell abzubilden, zu simulieren und somit die Auswirkungen derartiger Störungen aufzuzeigen.

Dadurch können Bauunternehmen in die Lage versetzt werden, mögliche Probleme bei Bauabläufen frühzeitig zu erkennen und eventuell erforderliche Handlungs- bzw. Ablaufalternativen planerisch bereits in der Phase der Arbeitsvorbereitung einzuleiten. Dem Planer wird damit ein Instrumentarium an die Hand gegeben, das ihm aufzeigt, welche Folgen sich aus Bauablaufstörungen ergeben können, und das es ihm ermöglicht, komplexe Bauprozesse vorab in der Phase der Arbeitsvorbereitung und damit bereits vor der Bauausführung simulativ zu bewerten und gegebenenfalls zu verbessern.

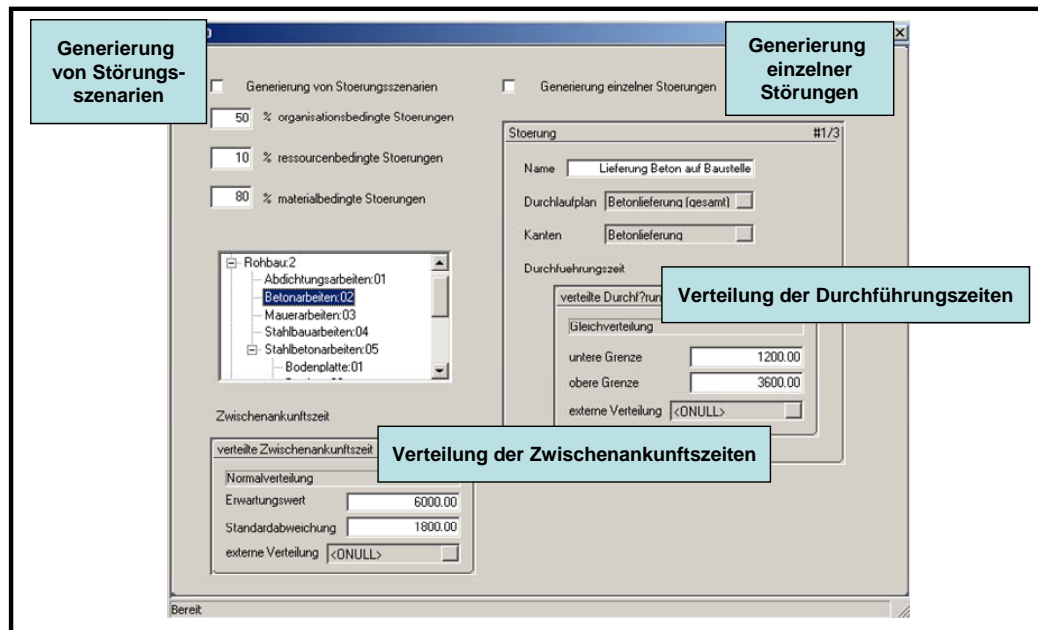


Bild 5.1: Screen-Shot zur Implementierung der Störungsdatenbank

Da das Auftreten nur einer Bauablaufstörung innerhalb des Gesamtbauablaufs bzw. innerhalb eines typischen Bauprozesses (z.B. Betonieren einer Wand) sehr unwahrscheinlich ist, werden komplexere Störungsszenarien betrachtet. Bei einem gegebenen Bauprojekt muss dem Anwender eines simulationsbasierten Planungstools folglich die Möglichkeit gegeben werden, unterschiedliche Störungsszenarien zu erzeugen, indem er z.B. die Störungsart, ihre Auftretenswahrscheinlichkeit bzw. Zwischenankunftszeit (vgl. Bild 5.1) verändern und somit Varianten eines gestörten Bauablaufs erzeugen kann.

Um dem Planer eine möglichst einfache Handhabung eines simulationsunterstützten Planungsinstruments zu ermöglichen, ist es von Vorteil, im Planungsverfahren Bauabläufe in Form von so genannten Durchlaufplänen als spezielle Form eines Netzplans zu modellieren (vgl. hierzu z.B. *Grobel 1992, S. 38 ff.*). Die Durchlaufpläne umfassen alle zur Bearbeitung eines Bauvorhabens notwendigen Aktivitäten in ihrer logischen Abfolge, wodurch sich ein Netzgraph mit Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen für die einzelnen Aktivitäten ergibt. In Bild 5.2 ist beispielhaft ein Durchlaufplan für den Rohbau eines Reihenhausblocks (bestehend aus vier Reihenhäusblöcken) dargestellt.

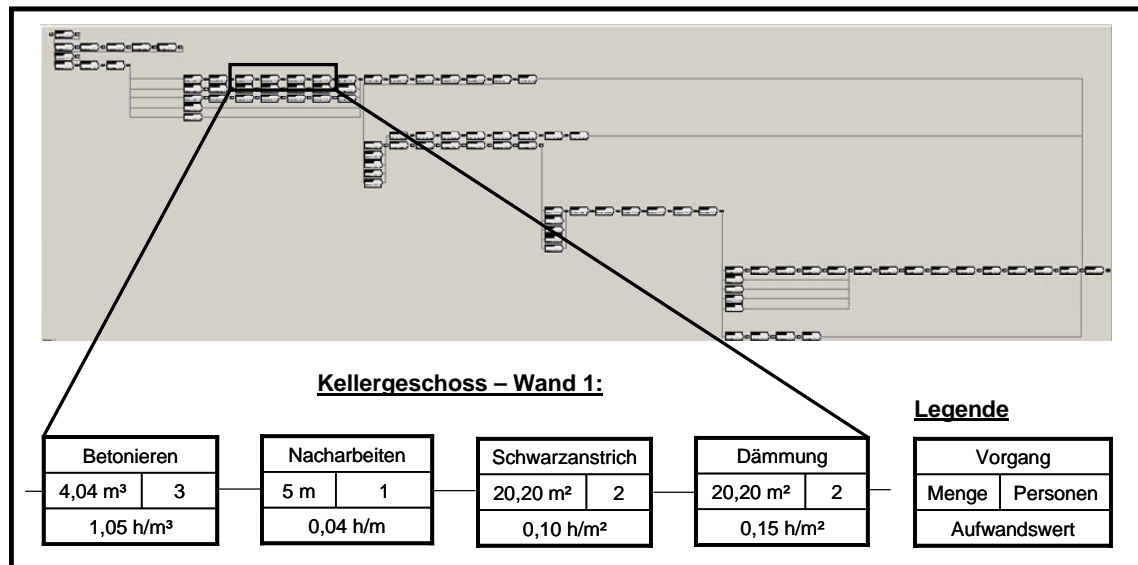


Bild 5.2: Ausschnitt aus dem Durchlaufplan für den Rohbau eines Reihenhausblocks

Der zu planende Bauablauf wird vom Anwender des Verfahrens in einem Simulationsmodell abgebildet. Zusätzlich zu den zeitlich-logischen Abhängigkeiten der sequenziell aufeinander folgenden, parallel bearbeitbaren oder auch alternativ erfolgenden Aktivitäten werden noch weitere Systemelemente (wie z.B. Personal) mit ihren Attributen (wie z.B. Beginntermine, Kapazitätsbedarfe, Arbeitszeitregelungen) eingegeben (vgl. Zülch, Börkircher 2006a).

Die Simulation von Bauablaufstörungen kann als Experimentierfeld für die Planung dienen und ermöglicht das frühzeitige Erkennen von Problemfeldern. Die Simulation hilft somit dem Planer bei der terminlichen und kostenmäßigen Abschätzung von Planungs- und Prozessänderungen infolge von Störungen. Durch mehrere Simulationsläufe kann entsprechend überprüft und nachgewiesen werden, welche Störungsszenarien aus vergangenen Beobachtungen für die tradierten Bauabläufe welche Auswirkungen aufweisen können bzw. eine besonders negative Wirkung auf einen geplanten Bauablauf haben. Dieses Vorgehen wird auch als Sensitivitätsanalyse bezeichnet. Darunter wird das Durchführen einer Serie von Simulationsläufen an einem Modell verstanden, bei denen jeweils mindestens ein Parameter, hier Art, Dauer und Zwischenankunftszeiten von Bauablaufstörungen, verändert wird.

Ein Anwendungsbeispiel einer solchen Szenariosimulation zeigt Bild 5.3. Dazu wurde ein diskretes, ereignisorientiertes Simulationsverfahren herangezogen

(hier der Objektsimulator *O_{Sim}*; vgl. *Jonsson 2000, S. 181 ff.*; *Zülch, Börkircher 2006b, S. 564 f.*), welches zur Simulation von Bauproduktionen entsprechend erweitert wurde. Auf Basis dieses Verfahrens werden aus der implementierten Störungsdatenbank Bauablaufstörungen zufallsgesteuert eingelastet, hier in die Durchlaufpläne aus Bild 5.2. Nach einem Simulationslauf können bauleistungs- und monetäre Kennzahlen ermittelt werden, wie etwa die mittlere Durchlaufzeit eines einzelnen Bauprozesses oder des gesamten Bauauftrags, die durchschnittlichen Prozesskosten sowie die Auslastung des Personals. Auf dieser Basis kann dann der Rohbau eines Reihenhausblocks bzw. eines Reihenhauses unter dem Einfluss von (modellierten) Störungsszenarien, die auch in der Realität auftreten können bzw. aufgetreten sind, bewertet werden.

Störungsszenarien	mittlere Durchlaufzeit (DLZ)	durchschnittliche Prozesskosten (PRK)	Durchschnittliche Auslastung des Personals
Störungsszenario 1	1771 ZE	2487 GE	68 – 72 %
Störungsszenario 2	1641 ZE	2887 GE	
Störungsszenario 3	1615 ZE	2631 GE	
Störungsszenario 4	1736 ZE	2965 GE	
Störungsszenario 5	1702 ZE	2643 GE	
Störungsszenario 6	1676 ZE	2825 GE	
Störungsszenario 7	1598 ZE	2754 GE	
Störungsszenario 8	1797 ZE	2900 GE	
Störungsszenario 8	1710 ZE	2797 GE	

Abweichung DLZ-Störungsszenario 8 zu Störungsszenario 7: 11 %

Abweichung PRK-Störungsszenario 4 zu Störungsszenario 1: 16 %

Legende:
ZE = Zeiteinheiten
GE = Geldeinheiten

Bild 5.3: Simulationsergebnisse für Störungsszenarien

Die Bewertung der Störungsszenarien hat dabei zweierlei Funktionen: Zum einen sollen Auswirkungen von typischen Bauablaufstörungen auf einen modellierten Bauablauf (bzw. modellierte Bauprozesse) anhand von bauleistungs- und monetären Zielkriterien bewertet werden. Weiterhin ist es möglich, verschiedene Störungsszenarien miteinander zu vergleichen. Die hier beispielhaft untersuchten Störungsszenarien ergeben sich aus einer Variation von organisations-, ressourcen- und materialbedingten Störungen sowie ihrer unterschiedlichen Zwischenankunftszeiten (vgl. Bilder 5.1 und 5.3). Würde man weiterhin mehrere gleichartige

Prozesse unter dem Einfluss unterschiedlicher Störungsszenarien untersuchen (vgl. Sensitivitätsanalyse), könnten u.a. Aussagen über die Störungsrobustheit geplanter Prozesse abgeleitet werden. Die Störungsrobustheit kann als Risikokennzahl verstanden werden, die eine negative Abweichung von einem Soll-Zustand aufzeigt. Ein Soll-Ist*-Vergleich auf Basis der Simulation wäre damit schon vorab in der Arbeitsvorbereitung möglich. "Ist*" darf dabei nicht mit dem "Ist" einer realen Baustellensituation gleichgesetzt werden, sondern ist vielmehr eine von vielen theoretisch möglichen Baustellensituationen unter einem mehr oder wenig starken Einfluss von Bauablaufstörungen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Durch eine zielgerichtete Verbesserung von Bauabläufen lassen sich entscheidende Reserven für die Produktivität von Baustellen erschließen. Dies ist auch daran zu erkennen, dass sich bei der Prozessgestaltung von Bauprojekten derzeit bahnbrechende Veränderungen abzeichnen, die mit dem Begriff "Lean Construction" umschrieben werden (vgl. z.B. *Ballard 2000; Halpin, Kueckmann 2002*). Eine Bedingung für die erfolgreiche Anwendung dieser Lean-Construction-Ansätze ist die Möglichkeit, Bauabläufe unter der Wirkung ihrer Einflussgrößen zu untersuchen.

Die Strukturierung bzw. Systematisierung von Bauablaufstörungen kann mit der hier vorgestellten Datenbank durchgeführt werden. Auf Basis der implementierten Störungsdatenbank lassen sich dann mit Hilfe eines Simulationsverfahrens Untersuchungen von Störungsszenarien durchführen, um das dynamische Systemverhalten von Bauabläufen zu untersuchen sowie kritische Störungen zu erkennen.

Die Verwendung des Simulationsansatzes hat einen wesentlichen Vorteil gegenüber den traditionellen, deterministischen Planungsverfahren, die auf Erfahrungen, Näherungswerten und statischen Berechnungen basieren. Der Ansatz ermöglicht ein besseres Verständnis der dynamischen Zusammenhänge, die sich aus Störungsauswirkungen ergeben können. Bauplaner können damit Best-Case- und Worst-Case-Szenarien untersuchen und auf Basis der Ergebnisse Fehler (z.B. verursacht durch Bauablaufstörungen), also die negative Abweichung von einem Soll-Zustand, abschätzen (*Zülch, Börkircher 2006b*). Durch Erkenntnisse, die im

Rahmen der Arbeitsvorbereitung auf durchgeführten Simulationsuntersuchungen basieren und dann daraus resultierender Verbesserungen von Bauabläufen kommt es u.a. zu weniger Informations- sowie Ausführungsfehlern.

Festzuhalten bleibt auch, dass Störungen nur dann erfasst werden können, wenn ausreichend definierte Soll-Daten zugrunde liegen. In Bauunternehmen liegen diese derzeit nicht in der benötigten Detailliertheit vor. Bauausführende Unternehmen müssten sich hierzu eingehender als bisher der Datenerfassung während der Bauausführung zuwenden.

Literatur

Ballard, G. H. (2000). "The Last Planner System of Production Control", Birmingham: University of Birmingham, Uni Diss.

Born, B.-L. (1980). "Systematische Erfassung und Bewertung der durch Störungen im Bauablauf verursachten Kosten", Düsseldorf: Werner-Verlag. (Hannover, Uni Diss.).

Grobel, Th. (1992). "Simulation der Organisation rechnerintegrierter Produktionssysteme, Karlsruhe Uni: Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation. (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, Band 3 - ISSN 0940-0559).

Haenes, H. und Sauer, I. (2004). Datenbank "Störungsanalyse", Baumarkt + Bauwirtschaft, Gütersloh, Heft 6, S. 38-41.

Haenes, H. und Welsch, M. (2001). Fehlermanagement, Baumarkt + Bauwirtschaft, Gütersloh, Heft 12, S. 39-41.

Halpin, D. W. und Kueckmann, M. (2002). Lean Construction and Simulation, Proceedings of the 34th Winter Simulation Conference: Exploring New Frontiers, Hrsg.: Snowdon, Jane L.; Charnes, John M., New York: Association for Computing Machinery (ACM) Press, S. 1697-1703.

Hornuff, M. R. (2003). Flexibilität in der Bauablaufplanung und ihre Nutzung bei Bauverzögerungen, Braunschweig. (Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Heft 36, Braunschweig, TU Diss.)

Husfeld, H. (2006a). Differenzierte Ansätze zur Bewertung von Bauablaufstörungen. Teil 1: Einleitung, Grundlagen, bisherige Praxis, *Bauwirtschaft und Baupraktik*, Gütersloh, Heft 4, S. 31-33.

Husfeld, H. (2006b). Differenzierte Ansätze zur Bewertung von Bauablaufstörungen. Teil 2: Lösungsansätze, *Bauwirtschaft und Baupraktik*, Gütersloh, Heft 5, S. 33-37.

Jonsson, U. (2000). Ein integriertes Objektmodell zur durchlaufplanorientierten Simulation von Produktionssystemen, Aachen: Shaker Verlag. (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 21).

Lang, A. (1988). Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung, Düsseldorf: VDI-Verlag. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 4, Nr. 85).

Mitschein, A. (1999). Die baubetriebliche Bewertung gestörter Bauabläufe aus Sicht des Auftragnehmers, Aachen: Druck & Verlagshaus Mainz. (Essen, Uni GH Diss., 1999).

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.) (1991a). Planung und Steuerung, Teil 3, München: Hanser. (Methodenlehre der Betriebsorganisation).

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.) (1991b). Planung und Steuerung, Teil 6, München: Hanser. (Methodenlehre der Betriebsorganisation).

Zülch, G. und Börkircher, M. (2006a). Simulationsbasierte Untersuchung zur Kooperation im Baubetrieb, *Innovative Kooperationsnetzwerke*, Hrsg.: Wojda, Franz; Barth, Alfred, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, S. 273-294. (Gabler Edition Wissenschaft; Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation; HAB-Forschungsbericht 16).

Zülch, G. und Börkircher, M. (2006b). Modellierung und Simulation von Bauprozessen: Planungsunterstützung im Baubetrieb unter Berücksichtigung von Bauablaufstörungen, *Simulation in Produktion und Logistik 2006*, Hrsg.: Wenzel, Sigrid, San Diego, Erlangen: SCS Publishing House, S. 561-570.

Dipl.-Ing. Martin Kugler
und
Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

**Entwurf eines multiagentenbasierten Referenzmodells
für Simulationen im Hochbau**

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Dipl.-Ing. Martin Kugler

Universität Kassel, Institut für Bauwirtschaft

Fachgebiet Bauorganisation und Bauverfahren

Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	71
1 Einführung.....	71
1.1 Motivation.....	71
1.2 Agententechnologie	72
1.3 Vor- und Nachteile der agentenbasierten Simulation	75
2 Lösungsarchitektur	76
2.1 Analyse und Entwurf des Referenzmodells	76
3 Fazit und Ausblick	81
Literatur	82

Kurzfassung

Die aus der Dynamik und dem Layout eines Bauprojektes resultierenden Schwierigkeiten bei der Modellierung von Simulationsmodellen im Hochbau erfordern einen besonders hohen Aufwand für die Vorbereitung und die Durchführung einer Simulationsstudie. Durch die Entwicklung eines multiagentenbasierten Referenzmodells für Simulationen im Hochbau kann dieser Aufwand reduziert werden. Die agentenbasierte Simulation ermöglicht die Entwicklung raumbezogener und dynamischer Simulationsmodelle, in denen die Systemveränderungen durch die Aktivitäten unabhängiger Programmeinheiten, den so genannten Agenten, dargestellt werden. In diesem Beitrag wird das der multiagentenbasierten Simulation zugrunde liegende Konzept sowie die Ansätze für den Entwurf eines multiagentenbasierten Referenzmodells für die Simulation von Hochbauprojekten vorgestellt.

1 Einführung

1.1 Motivation

Der oft zitierte „Unikatcharakter“ einer Baumaßnahme (*vgl. Van Toel und Abou-Rizk 2003, Weber 2006*) und die sich stetig wandelnde Umgebung auf einer Baustelle erschweren eine vereinfachte und standardisierte Modellierung von Bauprojekten in einem Simulationsmodell unter Einbezug der Räumlichkeiten, der Abhängigkeiten zwischen den unterschiedlichen Akteuren, des Baufortschrittes und der mit den einzelnen Arbeitsschritten verknüpften logistischen Prozesse. Hinzu kommt, dass insbesondere Hochbauprozesse aus einer sehr großen Anzahl unterschiedlicher Teilvorgänge bestehen, die meistens durch Kolonnen mit Arbeitskräften unterschiedlicher Qualifikation bearbeitet werden.

Eine adäquate Abbildung der realen Situation einer Baustelle in einem Simulationsmodell erfordert aus diesem Grund einen sehr hohen Entwicklungsaufwand. Daher ist bisher der Einsatz von Simulationsstudien in der Baupraxis in den meisten Fällen nicht rentabel. Nach *Chahrour und Franz (2004)* werden etwa 55 % des Aufwandes für eine Simulationsstudie in die Datenerfassung und die Modellentwicklung investiert. Durch eine Reduzierung dieses Anteils könnte die Anwendung von Simulationsstudien in der Baupraxis erheblich an Attraktivität hinzugewinnen.

Um dieses Ziel zu erreichen, müssten universal verwendbare Simulationsmodelle oder Bausteine eingesetzt werden, die an die Randbedingungen und den Projekt- ablauf neuer Bauvorhaben angepasst werden können. Das zu entwickelnde Referenzmodell soll daher so aufgebaut werden, dass daraus mit wenig Arbeitsaufwand ein spezialisiertes, multiagentenbasiertes Simulationsmodell für ein beliebiges Hochbauvorhaben abgeleitet werden kann.

Multiagentenbasierte Simulationsmodelle eignen sich besonders bei der Betrachtung von Systemen, die einer hohen Dynamik unterliegen und einen starken räumlichen Bezug aufweisen. In einer multiagentenbasierten Simulation sind die Agenten in eine simulierte Umgebung eingebunden, die sie über eigene Sensoren wahrnehmen können und in der sie über ihr Verhalten Veränderungen bewirken. So ist es möglich, dass sich ein simulierter Facharbeiter-Agent in dem Grundriss ganz unterschiedlicher Bauwerke zurechtfindet und dort seine Arbeit ausführt. Weiterhin besitzt ein Agent die Fähigkeit zur Interaktion mit anderen Agenten. In einem multiagentenbasierten Simulationsmodell kann daher die Zusammenarbeit in einer Kolonne und die Verzahnungen zwischen unterschiedlichen Gewerken sehr realitätsgetreu nachgebildet werden.

1.2 Agententechnologie

Die fortschreitende Entwicklung in der Computertechnologie ermöglicht mittlerweile den Einsatz von Simulationskonzepten, welche zuvor aufgrund der zu geringen Leistungsfähigkeit der EDV-Systeme nicht anwendbar waren. Zu diesen Simulationskonzepten zählt die multiagentenbasierte Simulation.

Ein Agent (abgeleitet vom engl. agent = Bevollmächtigter, Vermittler oder Akteur) bezeichnet in der Informatik ein Softwaresystem, welches in der Lage ist, in einer virtuellen Umgebung selbständig Ziele zu verfolgen oder Probleme zu lösen. In anderen Sachgebieten wird der Fachterminus „Agent“ aber auch für technische oder biologische Systeme in einer realen Umwelt verwendet. Abbildung 1.1 enthält eine Klassifikation der Agenten in Bezug auf ihre jeweilige Umgebung. Unter einem multiagentenbasierten Simulationsmodell wird demzufolge ein Modell verstanden, in dem mehrere Agenten in einer gemeinsamen simulierten Umwelt enthalten sind.

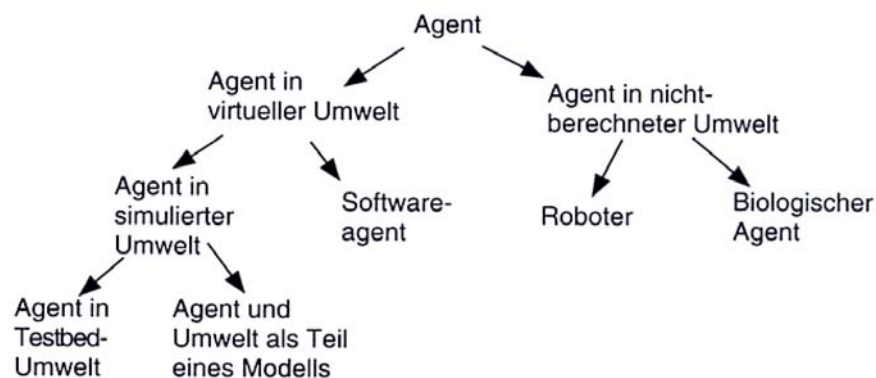


Abbildung 1.1: Taxonomie von Agenten in ihren konkreten Umgebungen (Klügl 2001, S.71)

Ursprünglich stammt der Begriff des Agenten aus Forschungsvorhaben im Bereich der verteilten künstlichen Intelligenz. In den USA wurden Ende der 80er Jahre erste Arbeiten veröffentlicht, welche die Kooperation sowie die Koordinierung von Aktionen und Verhandlungen unterschiedlicher, künstlich generierter Akteure zum Inhalt hatten (Ferber 2001, S. 44 f).

Je nach Verwendungszweck kann ein Agent über verschiedene Eigenschaften und Verhaltensweisen verfügen. Eine für die Multiagentensimulation gebräuchliche Charakterisierung und Erläuterung der Eigenschaften eines Agenten liefert Klügl (2001, S.14 ff). Nach ihr sollte ein Agent zumindest einige der folgenden Eigenschaften aufweisen:

- **„Situating“:** Der Agent ist in einer Umwelt integriert, die er wahrnimmt und in der er Veränderungen vornehmen kann.
- **„Reaktiv“:** Der Agent kann flexibel reagieren, d. h. er verfährt nicht nach einer festgelegten Prozessreihenfolge. Sein Verhalten wird vielmehr durch die Situation, in der er sich befindet, beeinflusst.
- **„Autonom“:** Auf Grundlage der momentanen Situation und eigener Ziele, wählt der Agent selbstständig seine folgenden Aktionen aus.
- **„Sozial“:** Ein Agent kann mit anderen Agenten interagieren.
- **„Rational“:** Der Agent arbeitet zielorientiert.
- **„Anthropomorph“:** Der Agent sollte sich wie ein Individuum verhalten, d. h. er verfolgt bestimmte Ziele oder Wünsche. Weiter sollte er glaubwürdig sein, d. h. ein Beobachter sollte die Rolle, die ein Agent in einer Simulation einnimmt, erkennen können.

S. Russel und P. Norvig (1995) unterscheiden vier verschiedene Agententypen, welche die Agenten nach ihrer Wissensbasis und der daraus resultierenden Steuerung ihres Verhaltens klassifizieren (siehe Abbildung 1.2).

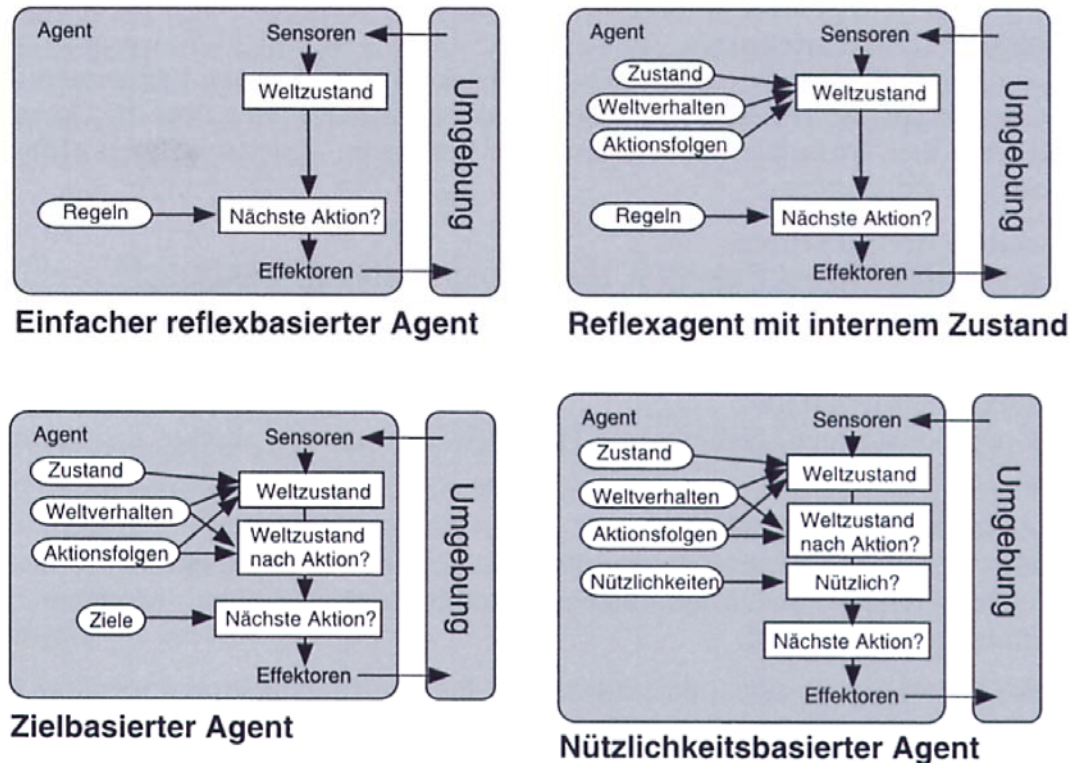


Abbildung 1.2: Agententypen nach Russel und Norvig (Klügl 2001, S.20)

Ein eigenes Referenzmodell für die Verhaltenstypisierung von Agenten liefert Schmidt (2000, S. 24 ff). Er unterscheidet grundsätzlich zwischen reaktiven und deliberativen Verhaltensweisen eines Agenten (siehe Tabelle 1.1). Reaktives Verhalten beschreibt eine festgelegte Reaktion, welche durch externe oder interne Zustände oder Reize ausgelöst wird. Deliberatives Verhalten setzt voraus, dass der Agent ein Bild oder Modell von sich und seiner Umwelt besitzt und aus dem daraus resultierenden Wissen rationale Handlungspläne entwickelt, um sein Ziel zu erreichen.

Tabelle 1.1: Verhaltenstypisierung nach B. Schmidt (2000)

Reaktives Verhalten	Deliberatives Verhalten
Instinktives Verhalten Durch einen äußeren Reiz wird in Abhängigkeit vom internen Zustand eine automatische Reaktion ausgelöst.	Konstruktives Verhalten Das Ziel des eigenen Verhaltens ist dem Agenten bewusst, es kann jedoch nicht verändert werden. Es kann aber ein gedankliches Modell der Umwelt gebildet werden, anhand dessen vorausplanend Aktionen festgelegt werden können.
Erlerntes Verhalten Das Verhalten wird durch eine Regelbasis gesteuert, die durch Lernvorgänge dynamisch erweitert werden kann.	
Triebgesteuertes Verhalten Durch ein inneres Bedürfnis (Trieb) wird eine Reaktion ausgelöst.	Reflektives Verhalten Das Ziel des eigenen Verhaltens kann verändert und frei gewählt werden. Es existiert nicht nur ein Modell der Umwelt, sondern auch ein Selbstbild, welches in Entscheidungen über zukünftige Handlungsweisen mit einfließt.
Emotional gesteuertes Verhalten Eine äußere Anregung setzt einen kognitiven Prozess in Gang, der die Anregung bewertet und zu einer Reaktion führt.	

1.3 Vor- und Nachteile der agentenbasierten Simulation

Alle Agententypen besitzen übergeordnet als wesentliche Eigenschaft, dass sie auf interne oder externe Reize mit einem vordefinierten oder auf Erfahrungen aufgebauten Verhalten reagieren. Die Verhaltenssteuerung der Agenten beruht daher zentral auf ihrer Wahrnehmung sowie auf vordefinierten Zielstellungen. Diese Eigenschaften machen sie für die Verwendung in Simulationsmodellen für das Bauwesen besonders interessant, da die Agenten auf die hohe Dynamik der raumbezogenen Umgebung einer Baumaßnahme situationsabhängig reagieren können. Agenten sind dadurch in der Lage, sich selbstständig an die Randbedingungen ganz unterschiedlicher Bauvorhaben zu adaptieren. So bestehen auf einer Baustelle beispielsweise keine festen Quellen und Senken (vgl. Weber 2006). Der Materialeinbau findet bei einem Bauwerk nicht wie in der industriellen Fertigung an einer festen Stelle statt, sondern er verändert sich ständig. Des Weiteren kann es durch den Baufortschritt erforderlich werden, Lagerplätze, die als die Quellen des Systems angesehen werden können, umzulegen. Die Fertigung von Innenwänden oder die Lagerung größerer Materialmengen kann während der Baumaßnahme zu einer Veränderung des zur Verfügung stehenden Wegenetzes führen. Im Allgemeinen gestaltet sich daher die Ermittlung der für die Simulation anzusetzenden

Weglängen sehr schwierig. Die Wahrnehmung und die Flexibilität der Agenten ermöglichen eine adäquate Berücksichtigung all dieser dynamischen Randbedingungen.

Nachteilig wirkt sich jedoch der hohe Entwicklungsaufwand aus, der für den Entwurf und die Implementierung einer agentenbasierten Simulation notwendig ist. Für den Agenten müssen für jede mögliche auftretende Situation Verhaltensweisen festgelegt und implementiert werden. Außerdem müssen die für die Interaktion mit anderen Agenten benötigten Regeln klar definiert werden, um Konfliktsituationen, die zu einem Stillstand oder Fehlverhalten des Systems führen können, zu vermeiden. Die Verbindung zwischen der Mikro- und der Makroebene des Modells stellt darüber hinaus ein besonderes Problem der agentenbasierten Simulation dar (*Klügl 2006, S. 414*). Die Mikroebene eines multiagentenbasierten Simulationsmodells besteht aus dem individuellen Verhalten der einzelnen beteiligten Agenten, während auf der Makroebene das Gesamtsystemverhalten betrachtet wird. Aus dem Zusammenspiel aller Agenten auf der Mikroebene sollte ein realistisches Verhalten des gesamten Modells, also ein wirklichkeitsnahes Abbild des Baufortschrittes auf der Makroebene, resultieren. Aufgrund des komplexen Verhaltensmodells eines Agenten ist es aber oft sehr schwierig festzustellen, welche Aktivitäten oder Regeln der einzelnen Agenten zu einem unbrauchbaren Modellverhalten auf der Makroebene führen.

Da die Berechnungen aller in einem Simulationsmodell enthaltenen Agenten parallel stattfinden, stellt eine Multiagentensimulation mit vielen Agenten sehr hohe Anforderungen an die Rechenleistung eines PCs.

2 Lösungsarchitektur

2.1 Analyse und Entwurf des Referenzmodells

Ein multiagentenbasiertes Modell besteht in der Regel aus verschiedenen Agenten, Ressourcen und einer gemeinsamen Umwelt. Alle aktiven Komponenten des Simulationsmodells, wie z.B. Facharbeiter, Kräne und Baustellenfahrzeuge werden als Agenten modelliert. Nur die Agenten sind in der Lage, andere Bestandteile der Umwelt zu bearbeiten oder zu verändern. Die passiven Bestandteile des Modells werden durch Ressourcen dargestellt. Ressourcen können nur durch ihre Ei-

enschaften oder ihre Anzahl auf das Modellverhalten Einfluss nehmen. Für die Beschreibung des Entwurfs der Agenten wird im Folgenden die „agent-based unified modeling language“ (AUML) der FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) verwendet (<http://www.auml.org/> 2007).

Der Einsatzbereich des Simulationssystems ist zu Beginn einer gründlichen Analyse zu unterziehen. An einem Hochbauprojekt sind viele verschiedene Gewerke beteiligt, die mit ihren Arbeiten oftmals in gegenseitigen Abhängigkeiten zueinander stehen. Das Simulationsmodell soll in der Lage sein, diese Abhängigkeiten adäquat darzustellen.

In der Analyse wird die Organisationsstruktur, die innerhalb der einzelnen Gewerke besteht, ebenfalls mit betrachtet. Da ein multiagentenbasiertes Simulationsmodell sich möglichst nah an der Struktur des realen Systems orientieren sollte, ist es notwendig, nicht nur die Fertigungsprozesse, sondern auch die sozialen und organisatorischen Strukturen des Systems mit zu berücksichtigen. Welcher Detaillierungsgrad dieser Strukturen bei der Modellumsetzung sinnvoll ist, muss noch eingehender untersucht werden. Als zentraler Agent wird ein Facharbeiter-Agent entworfen, dem in Abhängigkeit von dem Einsatzfeld des Simulationsmodells verschiedene Rollen zugewiesen werden können. In einer solchen „Rolle“ wird das Verhaltensrepertoire eines Agenten definiert (Odell et al. 2003, S. 3). Der Facharbeiter-Agent soll dazu in der Lage sein, die Rollen ganz unterschiedlicher Facharbeiter mit den zugehörigen Fähigkeiten, beispielsweise denen eines Trockenbauers, eines Maurers oder eines Elektrikers, einzunehmen.

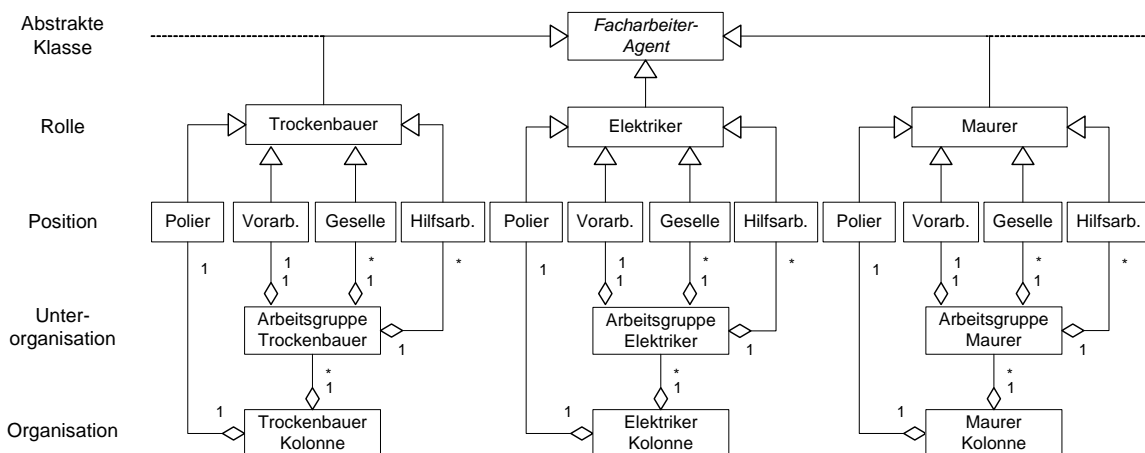


Abbildung 2.1: Verschiedene Rollen, Positionen und Organisationen

Der Agent soll außerdem einer Organisation angehören, in der er eine bestimmte Position besetzt (siehe Abbildung 2.1). Unter einer Organisation wird eine Gruppe verstanden, innerhalb derer eine feste Rollen- und Kompetenzverteilung mit klaren Interaktionen zwischen den Gruppenmitgliedern existiert (Odell et al. 2003, S. 3). Die kleinste Organisationseinheit auf einer Hochbaustelle besteht aus einer Arbeitsgruppe, die in der Regel aus einem Vorarbeiter und mehreren Gesellen oder Hilfsarbeitern zusammengesetzt ist. Dieser Organisationseinheit übergeordnet ist die Kolonne, welche wiederum aus mehreren Arbeitsgruppen bestehen kann und für die außerdem ein Polier verantwortlich ist. Interaktionen sind zwischen den Mitgliedern innerhalb einer Organisation, aber auch zwischen verschiedenen Organisationen möglich. So sind die Gesellen innerhalb einer Maurer-Arbeitsgruppe beispielsweise für die Durchführung der Maurerarbeiten zuständig, während die Hilfsarbeiter bei Bedarf den Materialtransport ausführen. Zwischen den verschiedenen Arbeitsgruppen wiederum müssen terminliche, räumliche und ausführungsbedingte Interaktionen beachtet werden.

Um einen Agenten zu entwickeln, der in eine Organisationsstruktur eingebunden ist und durch Instanziierung und Parametrisierung in einen beliebigen, spezialisierten Facharbeitertyp umgewandelt werden kann, ist es notwendig, das Verhalten und die Arbeitsschritte, die ein Facharbeiter durchführt, ausreichend zu abstrahieren. Die von den jeweiligen Facharbeitern während ihrer Tätigkeit auszuführenden Teilvorgänge müssen daher bestimmten Fähigkeiten des Agenten zugeordnet werden.

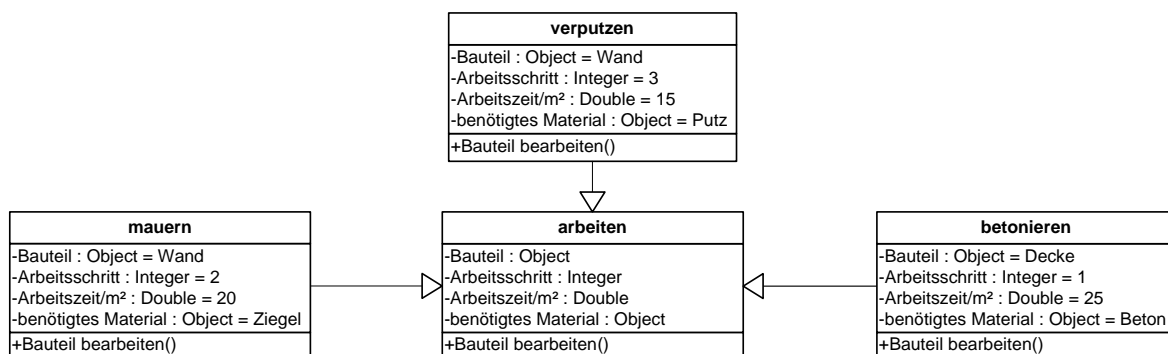


Abbildung 2.2: Generalisierung von Teilvorgängen zu einer Fähigkeit

Teilvorgänge, die gleiche Attribute und Operationen besitzen und sich nur durch ihre jeweiligen Attributwerte unterscheiden, können zu einer Fähigkeit zusammen-

gefasst werden (siehe Abbildung 2.2). In einer Fähigkeit (Capability) werden die von einer Operation oder einer Operationsfolge verwendeten Attribute sowie die Bedingungen, die für die Ausführung erfüllt sein müssen, zusammengefasst (*Hugget M.P. et al. 2003, S.4*).

In Abbildung 2.3 werden die Fähigkeiten „Materialtransport“ und „arbeiten“ des Facharbeiter-Agenten mit ihren Ein- und Ausgabewerten dargestellt. In dem Diagramm sind ebenfalls die Bedingungen enthalten, die vor der Ausführung (Input Constraints) und vor der Beendigung (Output Constraints) der Fähigkeit erfüllt sein müssen. Die Fähigkeit „arbeiten“ erhält als Eingabewerte das momentan bearbeitete Bauteil, den Arbeitsschritt (welcher den auszuführenden Teilvorgang angibt), die Arbeitszeit pro Mengeneinheit und das vor Ort vorhandene Baumaterial. Ein Bauteil kann dann bearbeitet werden, wenn der Bearbeitungsstand des Bauteils als nächsten Bearbeitungsschritt den Teilvorgang vorsieht, der aktuell von dem Agenten ausgeführt wird (*Input Constraints: Bauteil.Bearbeitungsstand = Arbeitsschritt*).

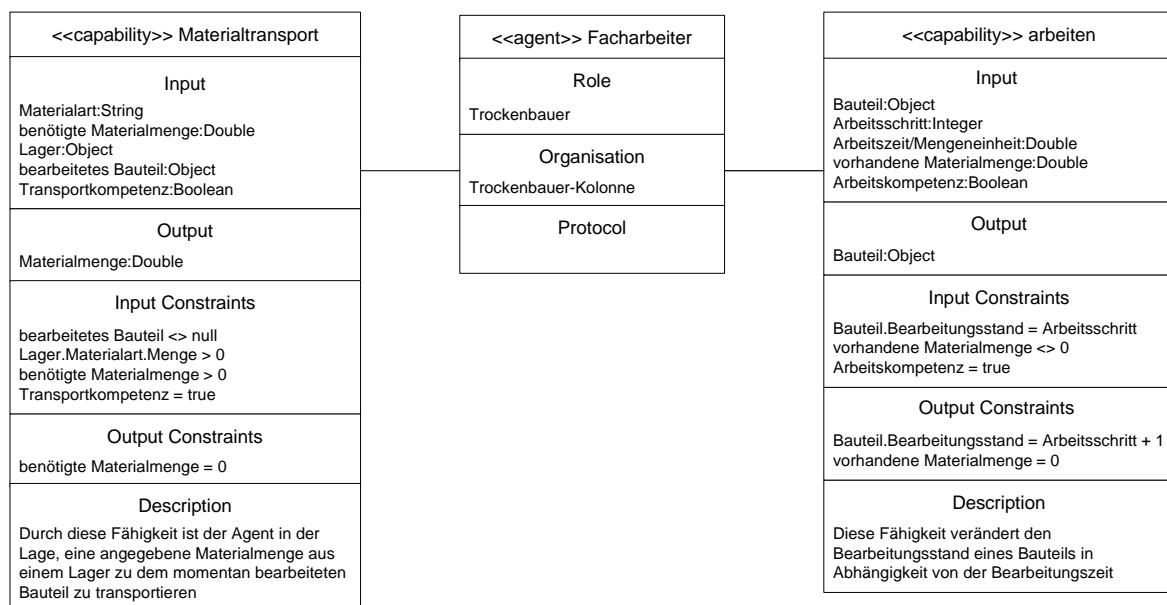


Abbildung 2.3: AUML Capability Description Diagramm

Die Zeit, die der Agent für die Ausführung der Fähigkeit benötigt, hängt primär von der Arbeitszeit pro Mengeneinheit und der Verfügbarkeit des benötigten Materials ab. Während der Ausführung der Fähigkeit überführt der Agent das Bauteil in einen neuen Bearbeitungsstand. Die Fähigkeit kann dann beendet werden, wenn die Bearbeitung abgeschlossen wurde und das Bauteil als nächsten Bearbei-

tungsschritt den folgenden Teilvorgang erwartet (*Output Constraints: Bauteil.Bearbeitungsstand = Arbeitsschritt + 1*) oder neues Material benötigt wird (*vorhandene Materialmenge = 0*).

Das Verhalten des Agenten in einer bestimmten Situation und die zeitliche Abfolge der von einem Agenten auszuführenden Tätigkeiten wird in einem Aktivitäts-Diagramm beschrieben (siehe Abbildung 2.4). Die beiden Aktivitäten „Materialtransport“ und „arbeiten“ lassen sich den zuvor behandelten namensgleichen Fähigkeiten zuordnen. Während im Capability-Description Diagramm die Attribute und ihre Werte im Vordergrund stehen, wird im Aktivitätsdiagramm (siehe Abbildung 2.4) die zeitliche Abfolge der durchzuführenden Operationen beschrieben. Der entworfene Agent besitzt zunächst ein rein reaktives Verhaltensrepertoire. Das heißt, dass er, ausgehend vom Zustand seiner Umgebung und den eigenen internen Zustandsvariablen, seine nächste Aktivität ausführt.

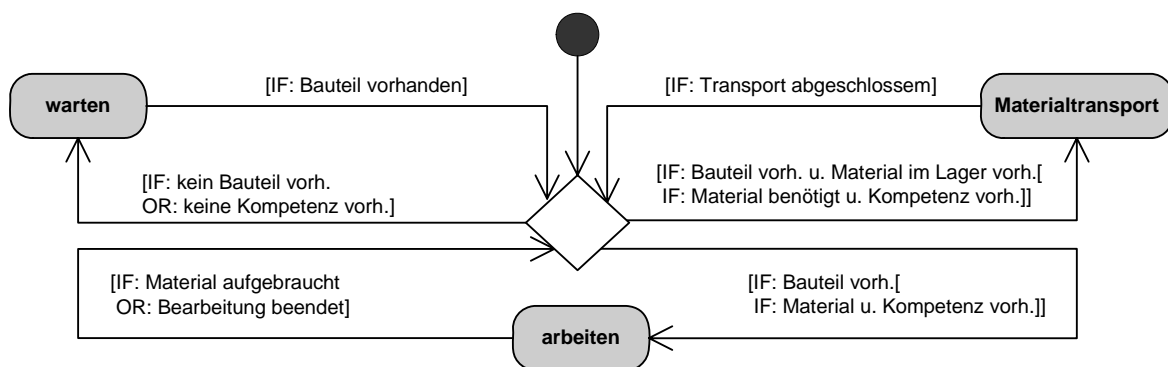


Abbildung 2.4: Aktivitätsdiagramm des Facharbeiters

Ist beispielsweise ein Bauteil mit dem erforderlichen Bearbeitungsstand vorhanden, genug Material vor Ort und besitzt der Agent darüber hinaus noch die notwendige Kompetenz für die Bauteilbearbeitung, dann führt der Agent die Aktivität „arbeiten“ durch. Ist ein Bauteil vorhanden, aber kein Material verfügbar, wird die Aktivität „Materialtransport“ ausgeführt. Wenn kein Bauteil vorhanden ist, das momentan bearbeitet werden kann, oder dem Agenten die Kompetenz für die Ausführung einer anliegenden Tätigkeit fehlt, so tritt der Agent in die Aktivität „warten“ ein.

Die Aktivitäten lassen sich wiederum in einzelne Aktionen unterteilen, die während einer Aktivität zeitgleich oder in Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen ausgeführt werden. In Abbildung 2.5 werden die Aktionen der Aktivitäten „arbeiten“

und „Materialtransport“ dargestellt. In der Aktivität „arbeiten“ werden nach dem schwarzen Parallelisierungsbalken die beiden Aktionen „Material verbrauchen“ und „Bearbeitungsstand des Bauteils verändern“ zeitgleich ausgeführt. Jede der beiden Aktionen kann eine Austrittsbedingung aus der Aktivität erzeugen. So wird die Aktivität beendet, wenn das Material aufgebraucht wurde oder wenn die Bearbeitung des Bauteils abgeschlossen ist.

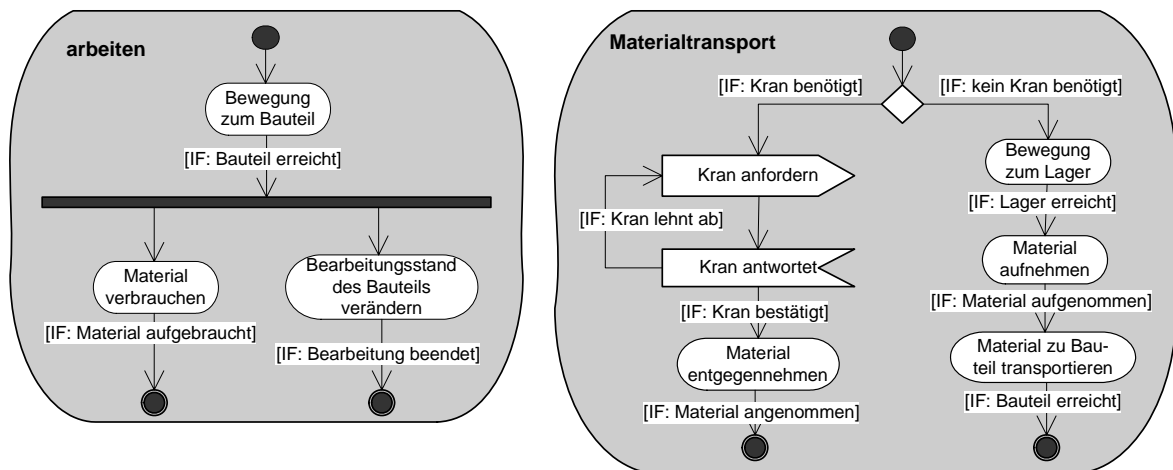


Abbildung 2.5: Aktionen der Aktivitäten "arbeiten" und "Materialtransport"

Über eine Verzweigung wird gleich zu Beginn der Aktivität „Materialtransport“ überprüft, ob das Material mit einem Kran oder per Hand transportiert werden muss. Für diese Aktivität existieren daher zwei alternative Aktionsabfolgen. Die Aktionen „Kran anfordern“ und „Kran antwortet“ setzen voraus, dass zwischen dem Arbeiter- und dem Kran-Agenten eine Kommunikationsschnittstelle besteht und der Kran auf die entsprechende Anforderung mit einem an seiner aktuellen Auftragslage ausgerichteten Verhalten reagiert.

3 Fazit und Ausblick

Vorgestellt wurden die Grundzüge der Agententechnologie sowie Ansätze zum Entwurf eines multiagentenbasierten Referenzmodells für Simulationen im Hochbau. Die agentenbasierte Simulation stellt auch im Bauwesen ganz neue Anforderungen an die Analyse und den Entwurf eines Simulationsmodells. Während für die Modellbildung bei den meisten Simulatoren das reale System weitgehend abstrahiert und in einzelne Prozesse zerlegt werden muss, wird in der agentenbasier-

ten Simulation ein rollenbasierter Ansatz verfolgt, der eine andere Sichtweise auf das Gesamtsystem voraussetzt. Die einzelnen Komponenten eines Simulationsmodells werden ihrer Entsprechung im realen System nach modelliert.

Der vorgestellte Entwurf wurde bereits in einer ersten prototypischen Implementierung umgesetzt. Diese Modellimplementierung lässt Erfolg versprechende Möglichkeiten für die Anwendung der Agentensimulation im Bauwesen erkennen. Sie zeigt aber auch die Notwendigkeit für eine weitere Detaillierung des Modells und für die Einführung neuer Modellkomponenten. Außerdem wird deutlich, dass für den Einsatz der Multiagentensimulation ein hohes Maß an Expertenwissen vorausgesetzt wird, welches nur schwer von einem Bauunternehmen vorgehalten werden kann. Im Fokus der folgenden Arbeiten werden daher die weitere Detaillierung des Modells sowie der Entwurf und die Umsetzung von Werkzeugen stehen, welche die Praxistauglichkeit der Agentensimulation verbessern sollen.

Literatur

Chahrour, R.; Franz, V. (2004): „Computersimulation im Baubetrieb – Forschungsstand, innovative Einsatzmöglichkeiten.“ In „Experiences from the Future – New Methods and Applications in Simulation for Production and Logistics“, Hrsg.: Kai Mertins und Markus Rabe, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2004, 329-339.

Ferber, Jacques (2001): „Multiagentensysteme – Eine Einführung in die Verteilte Künstliche Intelligenz“, Addison-Wesley Verlag 2001.

Huget, M.P.; Bauer, B.; Odell, J.; Levy, R.; Turci, P.; Cervenka, R.; Nodine, M.; Craneffeld, S.; Hong Zhu (2003): „FIPA Modeling: Agent Class Diagrams“, Hrsg.: Foundation for Intelligent Physical Agents, Geneva, Switzerland, 2003.

Klügl, Franziska (2001): „Multiagentensimulation – Konzepte, Werkzeuge, Anwendung“, Addison-Wesley Verlag 2001.

Klügl, Franziska (2006): „Multiagentensimulation.“ Informatik Spektrum, Vol. 29 (2006), Nr. 6, Springer Verlag 2006, 412-417.

In Klügl 2001, S.20 ff :

Russel, S. und Norvig, P. (1995), „Artificial Intelligence – A Modern Approach“, Prentice Hall, 1995.

Odell, James; Van Dyke Parunak, H.; Fleischer, Mitch (2003): “The Role of Roles in Designing Effective Agent Organizations”, In “Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems”, Hrsg.: Garcia A., Lucena C., Zambonelli F., Omicini A., Castro J., Lecture Notes on Computer Science volume 2603, Springer, Berlin, 2003, S. 27-38.

Schmidt, Bernd (2000): „Die Modellierung menschlichen Verhaltens“, SCS – The Society for Computer Simulation International in cooperation with ASIM – Arbeitsgemeinschaft Simulation, SCS-Europe BVBA, Ghent, Belgium, 2000.

*Van Tol, Anthony A. und AbouRizk, Simaan M. (2005): “Simulation modeling decision support through belief networks”, *Simulation Modelling Practice and Theory* 2006, Vol. 14, Nr. 5, International Journal of the Federation of European Simulation Societies – EUROSIM, S. 614-640.*

*Weber, J. (2006): „Simulation von Logistikkonzepten auf Baustellen.“ *Tagungsband der 12. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik*, Universität Kassel, September 2006, 571-580.*

*<http://www.auml.org/> (2007): „Agent UML Web Site.“ *Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko,

Dipl.-Ing. Nils Hinrichs,

Dipl.-Ing. Oliver Mehr

und

Dipl.-Ing. Sebastian Maffini

Dokumentation und Simulation von Bauprozessen mithilfe von Bildverarbeitungssystemen

Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko

Dipl.-Ing. Nils Hinrichs, Dipl.-Ing. Oliver Mehr, Dipl.-Ing. Sebastian Maffini

Technische Universität Darmstadt

Institut für Baubetrieb

El-Lissitzky-Str. 1, 64287 Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	87
1 Einleitung	87
2 Berührungslose Messverfahren zur Baufortschrittserfassung	89
2.1 Einführung.....	89
2.2 Ausgewählte Anwendungsszenarien berührungsloser Bildinformations- systeme auf Baustellen	91
2.2.1 Messung mit Einzelbildern	91
2.2.2 Messung mit Bildverbänden.....	92
2.2.3 Superposition.....	94
2.3 Leistungsbewertung.....	95
3 Zusammenfassung.....	98
Literatur	98

Kurzfassung

Der nachfolgende Aufsatz beschreibt den Einsatz von Bildverarbeitungssystemen zur Unterstützung der Steuerungs- und Dokumentationsprozesse in Bauprojekten. Neben der genauen Feststellung des Leistungsstandes der Baustelle liefern diese Systeme eine Visualisierung der Prozesse und ergänzen dabei althergebrachte Verfahren der qualitativen und quantitativen Bewertung von Baustellenergebnissen.

Die Notwendigkeit der genauen Leistungsfeststellung resultiert unter anderem aus neuen, internationalen Rechnungslegungsstandards, welche zu einer zeitnahen Datenerhebung von Bauprozessen verpflichten. Diese müssen genauer und neutraler als bisher erfasst werden. Die Einführung neuer Instrumente hierzu bietet – neben der Erfüllung der Dokumentationspflicht – neue Möglichkeiten zur Kontrolle, Verifikation und Steuerung des Bauablaufs. Auf Basis der gewonnenen Daten können durch Prozesssimulationen Prognosen über die weitere Entwicklung des Projektfortschritts erstellt werden.

1 Einleitung

Eine zielgerichtete Realisierung von Bauvorhaben benötigt Methoden und Werkzeuge der zeitnahen Feststellung der Soll- und Ist-Zustände der Planungs- und Ausführungsprozesse, damit die Reaktion auf etwaige Abweichungen in den geplanten und tatsächlichen Prozessen unverzüglich stattfinden kann. In den nachfolgenden Ausführungen wird in einer Übersicht auf ein ausgewähltes Problem eingegangen: die zeitnahe Leistungsfeststellung. Denn die Feststellung der erbrachten Leistung auf Baustellen bildet einen der substanziellen Prozesse in der Projektrealisierung. Die gewonnenen Daten sind Voraussetzung zur Durchführung grundlegender Kontroll-, Steuerungs-, Abrechnungs-, Informations- und Bewertungsprozesse sowohl auf Seiten des Bauunternehmens als auch auf Seiten des Auftraggebers. Für den Bauherrn ist eine möglichst genaue Feststellung und Dokumentation des Leistungsstandes unter anderem für die Bewertung der Vergütung der ausführenden Unternehmen sowie als Nachweis des Baufortschritts beispielsweise gegenüber den finanzierenden Kreditinstituten erforderlich. Für das

Bauunternehmen sind mit den ermittelten Daten unter anderem folgende Prozesse zu bedienen:

- Bewertung unfertiger Bauwerke im Rahmen des Jahresabschlusses (Bereich der Unternehmensrechnung)
- Bestimmung der Werte für die periodischen Abschlagsrechnungen oder für die Schlussrechnung an den Besteller / Auftraggeber
- Periodische Soll-Ist-Vergleiche bezogen auf Kosten, Termine, Qualitäten, Quantitäten und andere Größen als Basis für Kontroll- und Steuerungsprozesse (Bereich der Vergleichsrechnung innerhalb der Kosten- und Leistungsrechnung)
- Periodische Bestimmung des Baustellenergebnisses (Bereich der Baubetriebsrechnung innerhalb der Kosten- und Leistungsrechnung)
- Dokumentation der Leistungsentwicklung und ihrer Attribute.

Die Qualität der ermittelten Daten muss zumindest den Grundsätzen ordnungsmäßiger Buchführung (GoB) und den Erfordernissen operativer und strategischer Kontroll- und Steuerungsprozesse genügen. Mit dem Erlass der EU-Verordnung 1606/2002, welche die Anwendung der IFRS (International Financial Reporting Standards) regelt, werden die bisherigen nationalen Rechnungslegungsstandards verändert. Ziel dieses Erlasses ist es, in den verschiedenen Ländern der EU ein einheitliches Rechnungslegungssystem einzuführen, welches Unternehmen aufgrund einheitlicher Bewertungsvorschriften vergleichbar und der wirtschaftlichen Situation entsprechend darstellt. Mit dem „Gesetz zur Einführung internationaler Rechnungslegungsstandards und zur Sicherung der Qualität der Abschlussprüfung“ (Bilanzrechtsreformgesetz – BilReG 2004) wurde die EU-Verordnung 1606/2002 in nationales Recht in der Bundesrepublik Deutschland umgesetzt. Damit wurde der bisher nach geltender Meinung im Bereich der handelsrechtlichen Rechnungslegung vorherrschende Gläubigerschutz zugunsten der Informationsfunktion der externen Berichterstattung nach IFRS verschoben (Pähz 2005). Die Bewertung nicht abgerechneter Bauten wurde bisher nach dem Handelsgesetzbuch (HGB) in der Weise vorgenommen, dass die jeweiligen periodenbezogenen Auftragskosten in den einzelnen Jahresabschlüssen erfasst werden, wogegen dem Vorsichtsprinzip folgend die Gewinne erst in der Periode ausgewiesen werden, in der sie realisiert wurden. Nach der neuen Rechtslage vermittelt eine solche Bewertung kein realistisches Abbild der Lage des Unternehmens, wie es von den

Investoren für eine Anlageentscheidung und von der Unternehmensführung für eine strategische mittel- bis langfristige Ausrichtung benötigt wird. Die für die Bau- und Anlagenbauindustrie wesentliche Neuerung findet sich im IAS 11 (International Accounting Standard IAS 11 2003). Danach sind Teilgewinne verbindlich dann zu realisieren, wenn das Ergebnis eines mehrjährigen Fertigungsauftrages verlässlich geschätzt werden kann. Die Begründung der auszuweisenden Werte muss nach Ansicht der Verfasser genauer und neutraler in Bezug auf die Dokumentation und die damit verbundene Möglichkeit der Kontrolle und Verifikation erfolgen, als das der Fall mit den bisher üblich angewendeten Methoden ist (dingliche Bestimmung mit Hilfe eines sehr aufwändig zu erstellenden Aufmaßes) (Motzko 2007). Aufgrund des erheblichen Aufwands bei der Leistungsfeststellung wird diese überwiegend nur in monatlichen Intervallen durchgeführt. Damit werden insbesondere die Anforderungen an eine zeitnahe Dokumentation und Steuerung nicht erfüllt. Unterstützung kann dabei die Einrichtung von Bildinformationssystemen zur Leistungsfeststellung auf der Baustelle bringen, wie sie in der Literatur bereits dargestellt wurden (Heim 2002, Petschmann 2000, Motzko 2004).

Im nachfolgenden Aufsatz werden ausgewählte Forschungsergebnisse zum Themenkomplex der Dokumentation und Simulation von Bauprozessen mithilfe von Bildverarbeitungssystemen dargestellt. Die Verfasser stellen weiterhin die neuesten Entwicklungen aus dem Bereich der digitalen Messverfahren vor, die zur zeitnahen Erfassung des Baufortschritts angewendet und damit zur Unterstützung der Steuerungs- und Dokumentationsprozesse in Bauprojekten beitragen können. Die intensive Verknüpfung zwischen den Prozessen auf der Baustelle und dem Rechnungswesen ist das Ziel.

2 Berührungslose Messverfahren zur Baufortschrittserfassung

2.1 Einführung

Der Einsatz von Bildinformationssystemen zur Unterstützung der Dokumentation und Prozesssteuerung hat sich, wie bereits unter Ziffer 1 des vorliegenden Aufsatzes ausgeführt wurde, bei Baumaßnahmen im Bereich des Hochbaus bewährt (Heim 2002). Es ist jedoch davon auszugehen, dass je nach Bauwerkstyp und eingesetzter Technik die Möglichkeiten der Anwendung unterschiedlich ausgeprägt

sind. Im Folgenden wird ein Überblick über moderne geodätische Verfahren und deren Eignung zur Erfassung der Bauleistung gegeben. Diese sollen integriert im Bildinformationssystem als Werkzeug für die Bestimmung des Fertigstellungsgrades auf Baustellen dienen. Dazu werden berührungslose Messverfahren verwendet.

Unter der berührungslosen Vermessung ist die Ermittlung von Objektkoordinaten und Objektmaßen ohne die sonst üblichen Hilfsmittel (Zollstock, Maßband oder Reflektor) zu verstehen. Der Arbeitsbereich der berührungslosen Messverfahren befindet sich durch die ständige Verbesserung von digitalen Aufnahme- und Auswertesystemen in einem stetigen Wandlungsprozess. Durch die enorme Steigerung von Rechner- und Speicherleistung in den letzten Jahren ist es möglich geworden, digitale Photos von Kamerasystemen und Punktwolken von Laserscannern mit handelsüblichen Personal-Computern zu verarbeiten. Grundsätzlich lässt sich die berührungslose Vermessung in die photogrammetrischen und die lasergestützten Vermessungsmethoden unterteilen.

Bild 1 zeigt einen Überblick der Vermessungsmethoden mit den jeweils nach dem heutigen Stand der Technik einsetzbaren Messsystemen. Die Grundlagen dieser Technologien können der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden (Luhmann 2003, Kraus 2003, Petrahn 2002).

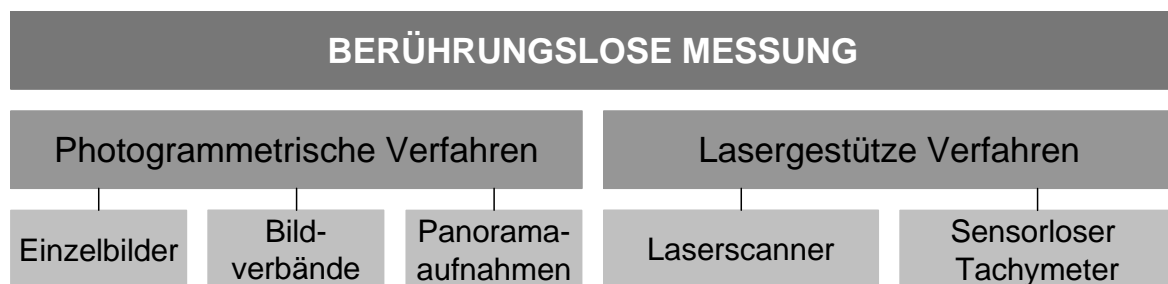


Bild 1: Überblick der berührungslosen Messsysteme (Elsebach 2005)

Die neusten Systeme integrieren die lasergestützten und die photogrammetrischen Verfahren. Nachfolgend wird beispielhaft auf deren mögliche Anwendungsszenarien zur Bauleistungsfeststellung eingegangen.

2.2 Ausgewählte Anwendungsszenarien berührungsloser Bildinformationssysteme auf Baustellen

Grundvoraussetzung für die kontinuierliche Feststellung des Baufortschritts ist die regelmäßige Kontrolle und Dokumentation der erbrachten Leistung. Im Zuge von Pilotstudien, die vom Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt in Kooperation mit Industriepartnern durchgeführt wurden, konnten exemplarisch berührungslose Messverfahren untersucht und ausgewertet werden. Dazu wurden Messungen mit Einzelbildern und Bildverbänden durchgeführt.

2.2.1 Messung mit Einzelbildern

Die Entzerrungsmessung eignet sich im Bauwesen besonders zur Vermessung von Objekten mit ebenen Eigenschaften. So können mit dem Messverfahren der Entzerrungsmessung insbesondere Fassaden-, Wand-, Decken- und Fußbodenflächen aufgenommen und ausgewertet werden (siehe Bild 2). Zu beachten ist allerdings, dass bei allen größeren Objekten, die nicht auf einem Photo abgelichtet werden können, eine Trennung der zu ermittelnden Flächen in auswertbare Abschnitte vorgenommen werden muss. Dies kommt dann häufig vor, wenn kein ausreichender Abstand zwischen Aufnahmestandort und aufzumessendem Objekt erreicht werden kann.

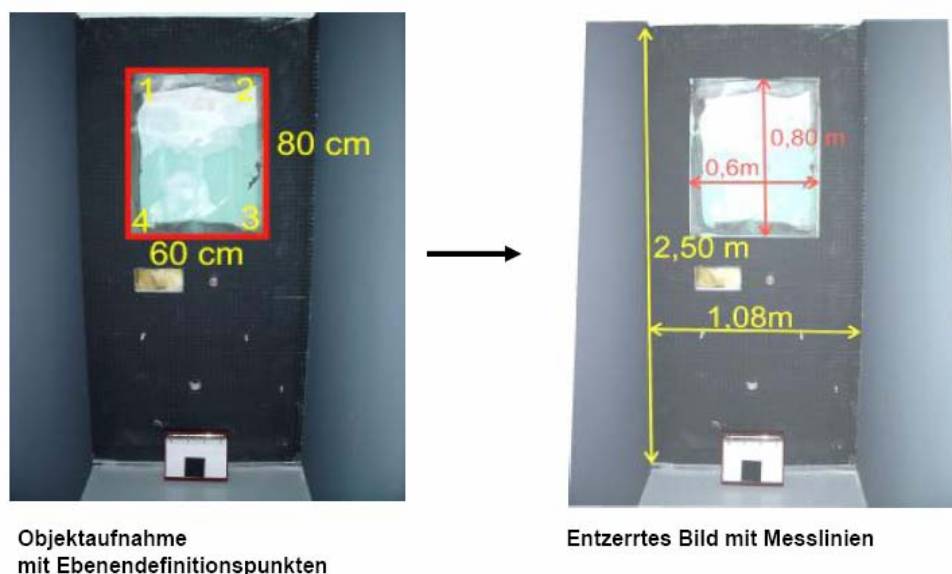


Bild 2: Entzerrung und Vermessung einer Wandfläche (Maffini 2004)

Als Voraussetzung für den Einsatz der photogrammetrischen Entzerrungsmessung sind lediglich die Auswertungssoftware und eine Digitalkamera erforderlich. Ein Einsatz dieses Verfahrens zur Überprüfung erbrachter Leistungen, zumindest in den oben genannten Gewerken, ist mit geringem Aufwand zu realisieren.

Nachteilig ist die immense Datenmenge, welche durch eine kontinuierliche Leistungsaufnahme entsteht. Hier gilt es, im Vorfeld ein leistungsfähiges und den Bedürfnissen der Leistungsfeststellung entsprechend strukturiertes Verwaltungssystem zu entwickeln.

2.2.2 Messung mit Bildverbänden

Im Gegensatz zur Einbildmessung beschränkt sich die Mehrbildmessung nicht auf ebene Objekte, sondern erlaubt die volumenmäßige Erfassung von Objekten. Um dieses gewährleisten zu können, müssen die betrachteten Objekte von allen Seiten abgelichtet werden. Dies kann gerade bei komplexen Bauten mit vielen filigranen Bauteilen aufgrund von Abschattungen einen erheblichen Erfassungsaufwand mit sich bringen. Grundsätzlich eignet sich dieses Verfahren insbesondere beim Aufmaß von Rohbau- und Tiefbauarbeiten (siehe Bild 3).

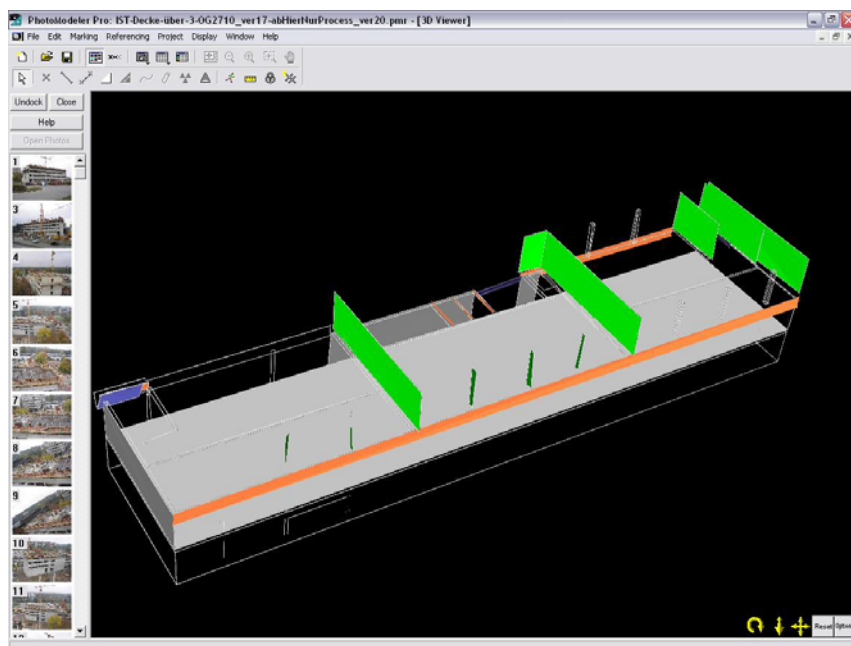


Bild 3: 3-D-Modell aus Mehrbildmessung, Ersatzbau Bauingenieurwesen in Darmstadt (erstellt mit Photomodeler 4.0)

Bei der Erfassung der Bauleistung kann hierbei grundsätzlich zwischen folgenden Vorgehensweisen unterschieden werden.

- Aufnahme über Rundgang

Im Rahmen der Dokumentationsvorbereitung muss ein Rundgang mit verschiedenen Kamerastandorten festgelegt werden. Das Bauwerk wird von diesen Standpunkten aus in regelmäßigen Abständen abgelichtet. Dieses Verfahren ist kostengünstig, jedoch beinhaltet es eine Vielzahl an möglichen Fehlerquellen wie zum Beispiel Veränderungen der Brennweite, unvollständige Erfassung der Leistung und zeitliche Differenzen zwischen den verschiedenen Aufnahmen.

- Aufnahme mit installierten Kameras

Alternativ zum Aufnahmerundgang können an vordefinierten Standorten Computer gesteuerte Kameras installiert werden, die zentral über ein Netzwerk angesprochen werden.

Die Auswertung der Mehrbildmessungen kann, wie die Einbildmessung auch, über Superposition oder über eine 3-D-Modellierung erfolgen.

Über die Bauwerksrekonstruktion in der 3-D-Modellierung wird neben den ausgeführten Mengen auch ein bauzustandsbezogenes Bauwerksmodell geliefert. Dieses ist allerdings in der photogrammetrischen Aufbereitung erheblich aufwändiger.

- Panoramaaufnahmen

Eine Sonderstellung auf dem Gebiet der Mehrbildmessung nimmt die photogrammetrische Auswertung von Panoramaaufnahmen ein. Dabei werden von zwei definierten Höhenstandpunkten aus vollsphärische Aufnahmen durchgeführt und diese überlagert.

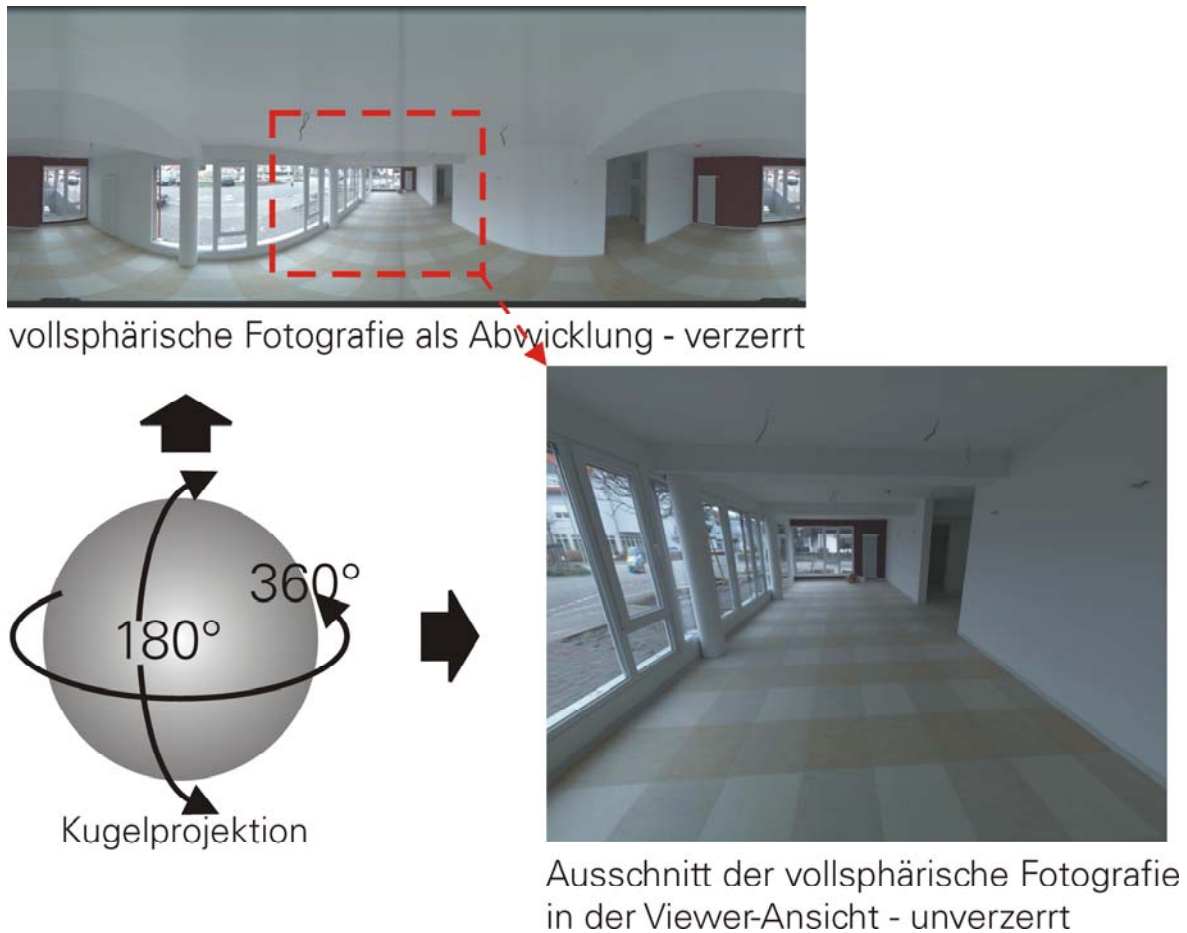


Bild 4: Auswertung vollsphärischer Fotografien (Elsebach, Motzko 2007).

Dieses System bietet alle Möglichkeiten der Entzerrungsmessung, wobei über den Viewer die Möglichkeit besteht, ohne Referenzfläche und Orientierung der Aufnahme, Messungen vorzunehmen (siehe Bild 4). Im Gegensatz zur konventionellen Mehrbildmessung ist es jedoch in diesem Verfahren nicht möglich, weitere Aufnahmen in das Modell zu integrieren, so dass ein zusammenhängendes Gebäudemodell nicht generiert werden kann.

2.2.3 Superposition

Bei der Superposition werden Bild- und Modelldaten gegenübergestellt. Das geometrische Bausoll wird in Form eines dreidimensionalen Modells dargestellt. Das Modell lässt sich durch Verknüpfung mit dem Terminplan der Baustelle so verändern, dass es auch die zeitliche Dimension des Bausolls abbildet.

Der Baufortschritt – und damit der Ist-Zustand - wird durch digitale Kameras beobachtet, die im lokalen Koordinatensystem der Baustelle verortet sind. Durch Abfrage der Werte Position, Blickrichtung, Bildwandlergröße, Brennweite und Aufnahmezeitpunkt lässt sich der jeweils aktuelle Bildausschnitt der Kamera berechnen und eine visuelle Überlagerung von angepasstem virtuellem Raum und realem Abbild herstellen.

Zeitliche oder räumliche Unstimmigkeiten sind somit einfach festzustellen und lassen Abweichungen zum Bausoll ermitteln. Sind diese – durch Korrekturen am Datenbestand respektive am Bauwerk – behoben, sind die erbrachten Leistungen automatisch erfasst.

Die Verbindung der korrigierten Daten mit dem Bild erlaubt eine nachvollziehbare Dokumentation des Bauablaufs.

2.3 Leistungsbewertung

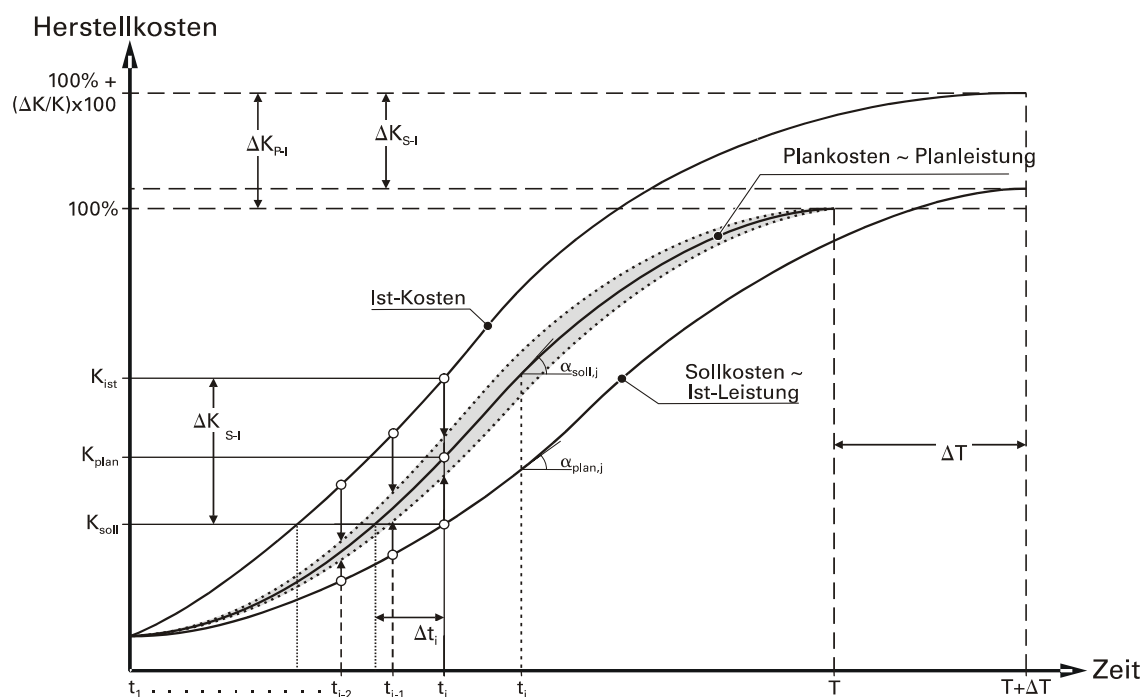
Für die weitere Verarbeitung der gewonnenen Daten, beispielsweise für die Belange der Ablaufkontrolle und –steuerung sowie für die bilanziell relevante Bestimmung des Fertigstellungsgrades, ist entsprechend der Zielsetzung des Unternehmens ein Informationssystem einzurichten. Der Aufbau einer solchen Informationsdatenbank sollte sich dabei an den prinzipiellen Erfordernissen des operativen Projektmanagements sowie den Belangen der Supportprozesse innerhalb der Geschäftsprozesse, welche wiederum direkten Einfluss auf die bilanzielle Strukturen ausüben, orientieren (Girmscheid, Motzko 2007).

Durch regelmäßige Datenaufnahmen in Form von Bildern und Berichten sollten folgende Größen gewonnen werden:

- Erfassung der erbrachten Ist-Leistung gegliedert nach den einzelnen Bauabschnitten. Der Detaillierungsgrad reicht dabei von der Betrachtung eines gesamten Bauabschnitts bis hin zu einzelnen Positionen.
- Leistungs- und Qualitätskontrolle von Nachunternehmern.
- Dokumentation von aufgetretenen Mängeln und deren Beseitigung.
- Abgleich der Informationssituation zwischen Baustelle und Geschäftsleitung.
- Ableitung der periodischen Soll-Ist-Vergleiche (Kosten, Termine, Qualitäten, Quantitäten).

- Durchführung von Abweichungsanalysen.
- Erstellung von Prognosen über die voraussichtliche Entwicklung der Bauleistung.

Ein Beispiel für die grafische Auswertung im Zuge eines Soll-Ist-Vergleiches ist in Bild 5 dargestellt. Die Summenkurven geben eine Gesamtübersicht über alle Leistungspositionen einer Baustelle. Die zeitnahe Feststellung der Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Werten ermöglicht die Simulation der künftigen Leistungsentwicklung und damit die Ermittlung von Prognosewerten.



Plankosten=
Geplante Menge x kalkulierte Herstellkosten je Mengeneinheit

Sollkosten=
Geleistete Menge x Kalkulierte Kosten je Mengeneinheit

Istkosten=
Angefallene Kosten in Bezug auf die geleistete Menge

ΔT = Verzögerter Fertigungstermin

ΔK_i = Kostenüber/-unterschreitung zum Zeitpunkt t_i
 ΔK_{P-I} = Kostenüber/-unterschreitung Plan-Ist
 ΔK_{S-I} = Kostenüber/-unterschreitung Soll-Ist
 Δt_i = Zeitverzögerung oder -vorsprung zum Zeitpunkt t_i
 T = Geplanter Fertigungstermin
 K = Geplante Projektherstellungskosten
 $\alpha_{soll,j}$ = Soll-Leistung zum Zeitpunkt j
 $\alpha_{plan,j}$ = Ist-Leistung zum Zeitpunkt j

Bild 5: Abweichungsanalyse beim Soll-Ist-Kostenvergleich (Girmscheid, Motzko 2007)

Nach dieser Vorgehensweise wurde die Baufortschrittsmessung an einigen Beispielprojekten durchgeführt (siehe Bild 6).

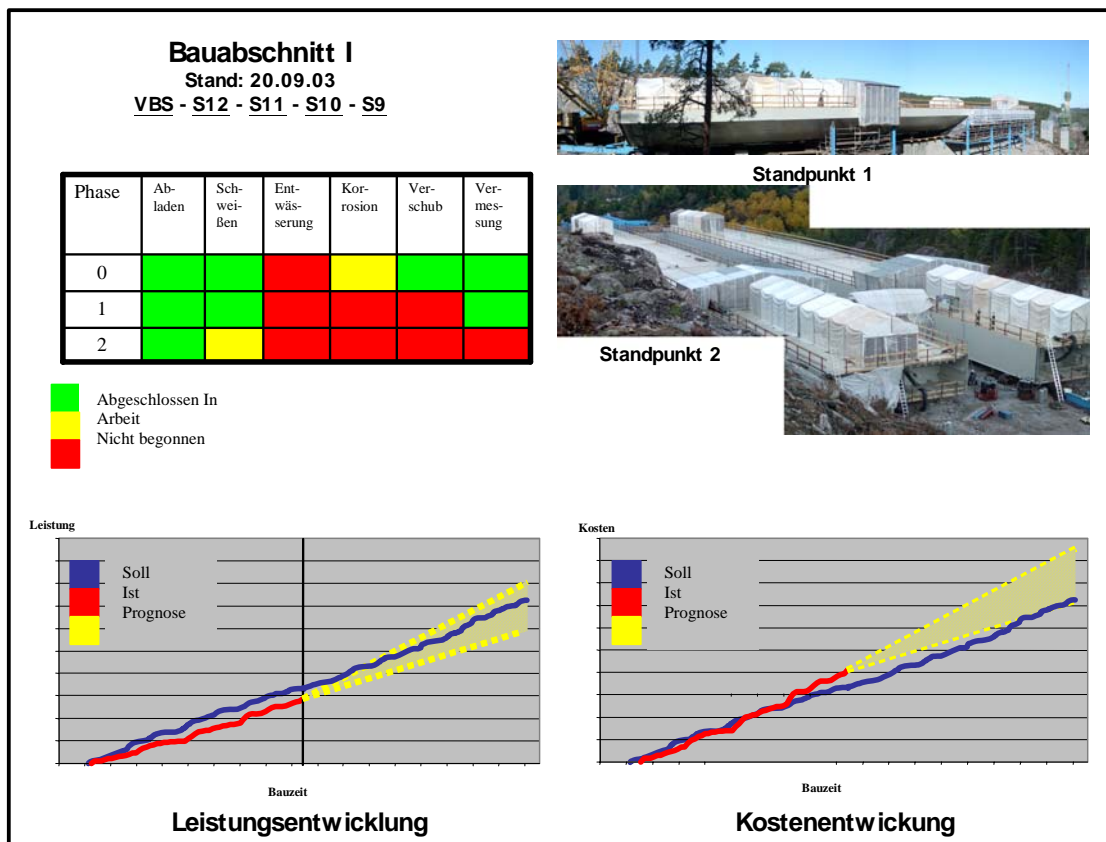


Bild 6: Datenabfrage zum Stichtag bei einem Brückenbauprojekt in Skandinavien (Motzko, Maffini 2004)

Die Vielseitigkeit der Informationsquellen für das entwickelte Informationssystem liefert eine hohe Informationsdichte über die Leistungsentwicklung der Baustelle. Diese ermöglicht nach Aufbereitung der Daten sowohl eine genaue Bestimmung der Ist-Leistung als auch eine präzise Gegenüberstellung zu den Sollvorgaben. Damit werden die Bewertungsprozesse zur Kosten- und Erlössituation sowie des Fertigstellungsgrades unterstützt.

Neben der Feststellung des Leistungsstandes der Baustelle soll über die bildliche Dokumentation der Ist-Ablauf der Baustelle visualisiert werden. Dies ist von besonderer Bedeutung für den verantwortlichen Projektleiter, da hierüber Leistungser-schwernisse, unvorhersehbare schwierige Bauzustände, Behinderungen und Verzögerungen im Bauablauf festgehalten werden können. Dies gilt insbesondere für Fertigungszustände, die später nicht mehr rekonstruierbar sind. Die vorhandenen Bilder können diese Dokumentationsfunktion erfüllen. Damit wird eine wichti-

ge Teilfunktion des Auftragsmanagements erfüllt.

3 Zusammenfassung

Aus den Ausführungen kann abgeleitet werden, dass die Ermittlung des Fertigstellungsgrades von Bauprojekten, die Ermittlung der bereits entstandenen und die realistische Abschätzung der verbleibenden Kosten wichtige Grundlagen der Unternehmens- und Projektsteuerung bilden. Diese Größen bestimmen unter anderem die aus der Umsetzung der EU-Verordnung 1606/2002 resultierende korrekt bilanziell vorzunehmende Teilgewinnrealisierung. Das bedeutet in der Konsequenz, dass die Prozesse auf der Baustelle zeitnahe abzubilden sind und die notwendigen Informationen quasi in Echtzeit vorliegen müssen. Im vorliegenden Beitrag wurden die neuen Randbedingungen der Rechnungslegung erläutert (Ziffer 1). In Anknüpfung daran wurden neue Methoden zur zeitnahen Ermittlung des Baufortschritts dargelegt (Ziffer 2), welche zu einer deutlichen Verbesserung der geforderten Genauigkeiten und zur zeitnahen Verfügbarkeit der notwendigen Daten führen. Theoretische und praktische Studien der Verfasser dieser Abhandlung konnten dieses belegen. Die dargestellten Systeme befinden sich in einer stetigen Entwicklung und werden der praktischen Anwendung zunehmend zugeführt.

Literatur

Elsebach, J. (2005). „Digitale Verfahren zur Bestimmung des Leistungsstandes auf Baustellen“, Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt, unveröffentlicht, 2005

Elsebach, J.; Maffini, S. (2004). „Leistungsmessung mittels Bildinformationssystemen bei Gewerken des Ausbaus und der technischen Gebäudeausrüstung“, Vertiefungsarbeit am Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt, unveröffentlicht, 2004

Elsebach, J.; Motzko, C. (2007). „Zeitnahe Dokumentation und Leistungserfassung von Bauprojekten mit vollsphärischen Fotografien“, Institut für Baubetrieb der TU Darmstadt, 2007

Girmscheid, G.; Motzko, C. (2007). „Kalkulation und Preisbildung in Bauunterneh-

men“, Springer Verlag, 2007

Heim, M. (2002). „Die zeitnahe Leistungsfeststellung von Baustellen“, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2002

Heim, M.; Motzko, C. (2002). „Zeitnahe Leistungsfeststellung von Baustellen durch Bildinformationssysteme“, Bauingenieur, Band 77, Heft Februar 2002, Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 2002

Kraus, K. (2003). „Photogrammetrie“, Band 1, 7.Auflage, de Gruyter Verlag, 2003

Luhmann, T. (2003). „Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen“, 2. Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg ,2003

Maffini, S.; Elsebach, J. (2004). „Leistungsmessung mittels Bildinformationssystemen bei Gewerken des Ausbaus und der technischen Gebäudeausrüstung“, Vertiefearbeit am Institut für Baubetrieb, 2004

Motzko, C.; Bergheimer, K.H.; Hinrichs, N. (2007). „Die Bedeutung des Fertigstellungsgrades für die Baubilanz“, Bauingenieur, Band 82, April 2007, Springer/VDI Verlag, 2007

Motzko, C.; Maffini, S.; Hübner, J. (2004). „Aufbau eines Informationssystems zur Leistungsfeststellung im Brückenbau – „Neue Svinesundbrücke“ in Schweden“, Tiefbau, Heft 11, November 2004, Erich Schmidt Verlag, München, 2004

o.V.: BilReG (2004). „Gesetz zur Einführung internationaler Rechnungslegungsstandards und zur Sicherung der Qualität der Abschlussprüfung“, (Bilanzrechtsreformgesetz – BilReG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 65, ausgegeben zu Bonn am 9 Dezember 2004, S. 3166 – 3182.

o.V.: International Accounting Standard IAS 11 (2003). (Revised 1993), L261/54, Official Journal of the European Union, 13.10.2003

o.V.: Verordnung (EG) Nr. 1606/2002 des europäischen Parlaments und des Rates vom 19.07.2002 betreffend die Anwendung internationaler Rechnungslegungsstandards

Pähz, N. (2005). „Rechnungslegung von Bauunternehmen nach HGB und IFRS im Vergleich“, Dissertation, 2005

Pettrah, G. (2002). „Grundlagen der Vermessungstechnik“, 2. Auflage, Cornelsen Verlag, 2002

Petzschmann, E.; Dreier, F. (2000). „Verbesserung der Aussagekraft von Dokumentationen baubetrieblicher Sachverhalte durch visualisierte Darstellung für Störungsnachweise“, Cottbus, Eigenverlag, 2000

Von Wahl, S. (2002). „Die Bewertung unfertiger Bauwerke im Jahresabschluss der Bauaktiengesellschaften“, Dissertation, 2002

Dipl.-Ing. Jörg Weber

**Automatische Generierung von Simulationsmodellen
auf Basis von CAD-Daten**

Dipl.-Ing. Jörg Weber

Universität Dortmund

Fakultät Maschinenbau FK7, Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik

Leonhard-Euler-Str. 2, 44221 Dortmund

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	103
1 Einleitung	103
2 Zielsetzung	104
3 Automatische Generierung von Simulationsmodellen	105
3.1 Konzeptmodell	105
3.2 Systemlasterzeugung	106
3.2.1 Vorhabensspezifische Daten	106
3.2.2 Vorhabenunabhängige Daten	107
3.3 CAD-Daten zur automatischen Modell-Generierung	108
3.3.1 Kraneigenschaften	109
3.3.2 Lagereigenschaften	109
3.4 Nacharbeit	110
4 Ausblick	111
Literatur	112

Kurzfassung

Die Erstellung einer Simulationsstudie erfordert sowohl finanziellen als auch zeitlichen Aufwand. Da die Methode in der Baupraxis bislang noch selten zum Einsatz kommt, sind die Vorteile einer Simulation wenig bekannt und mögliche Produktivitätssteigerungen schwer quantifizierbar. Um im Bauwesen die Simulation dennoch wirtschaftlich einsetzen zu können, muss der Aufwand so weit wie möglich verringert und gleichzeitig durch Realanwendungen der Nachweis der Effektivität erbracht werden. Nur so ist zu erwarten, dass Simulationen in der Baupraxis eingesetzt werden, denn der Nutzen der Simulation endet, von Nachkalkulationen abgesehen, mit Abschluss des Bauvorhabens.

Der vorliegende Beitrag beschreibt ein Verfahren, das auf der Basis vorhandener 3D-CAD Daten Simulationsmodelle generiert, mit deren Hilfe die Logistikprozesse des allgemeinen Hochbaus untersucht werden, mit dem Ziel verschiedene Logistik-Konzepte zu bewerten.

Zudem werden die erforderlichen Datentransformationen für die Systemlasterzeugung dargestellt und erläutert. Auf die (neuen) Aufgabenstellungen der Arbeitsvorbereitung wird in diesem Zusammenhang ebenso eingegangen wie auf die erforderliche Nacharbeit, die automatisch generierte Modelle so modifiziert, dass sie für Simulationsstudien tauglich sind.

1 Einleitung

In der Stationären Industrie wird seit Jahren erfolgreich die Methode der Simulation für Logistikprozesse eingesetzt. Es gibt auf dem Softwaremarkt eine Reihe von Simulationswerkzeugen mit z. T. speziellen Anpassungen für die Abbildung von Logistikprozessen. Auch auf einer Baustelle finden neben Fertigungsprozessen eine Reihe logistischer Prozesse statt. Daher wurde untersucht, in wie weit es möglich ist, die Simulationsmethode für die Logistikprozesse des Bauwesens nutzbar zu machen. Dieser Bereich ist noch wenig untersucht und bietet wahrscheinlich ähnliches Potenzial zur Produktivitätssteigerung wie in der Stationären Industrie.

Mit Hilfe von Simulationsmodellen lassen sich verschiedene Logistikkonzepte tes-

ten und vergleichen, bevor eine Baumaßnahme durchgeführt wird. Da eine Baustelle auf Grund ihrer Einmaligkeit einen prototypischen Charakter hat, ist eine Simulation ein probates Mittel, um im Vorfeld möglichst viele Probleme zu erkennen und Lösungen zu erarbeiten.

2 Zielsetzung

Im Vergleich zur Stationären Industrie hat die Simulation einer Baustelle, wie sie hier vorgestellt wird, einen geringen zeitlichen Bestand, da der Abschluss der Gebäudeerrichtung auch das Ende des Simulationszwecks ist. Auch wenn in der Stationären Industrie die Produktzyklen kleiner werden, sind die Projektlaufzeiten im Bauwesen im Allgemeinen geringer und somit der Nutzen eines Modells zeitlich begrenzt. Um die Methode der Simulation dennoch zu nutzen, ist es notwendig, den Aufwand sowohl zeitlich als auch kostenmäßig so gering wie möglich zu halten. Insbesondere eine schnelle Modellerstellung ist wegen der vergleichsweise kurzen Phase zwischen Datenerhebung (Ausführungsplanung) und Baubeginn erforderlich. Der finanzielle Mehraufwand durch die Simulation sollte in der Bauzeit durch die Produktivitätssteigerung auf Grund der Simulationsergebnisse erwirtschaftet werden, der Nachweis ist allerdings wegen der Einmaligkeit von Bauwerken schwer zu führen.

Es ist des Weiteren Ziel dieses Beitrags, Hinweise zu geben, wie Simulationen besser in die Planungsprozesse eines Bauunternehmens integriert werden können. An verschiedenen Stellen in der Literatur (z. B. *Lennertz 1996* oder *Töpfer 2001*) wird auf die Bedeutung der Arbeitsvorbereitung hingewiesen. Diese kann durch Simulationen des Bauablaufs qualitativ erweitert und verbessert werden. Für die Akzeptanz in der Baupraxis sind eine einfache Bedienung und übersichtliche Ergebnisse erforderlich.

Nachfolgend wird ein Ansatz vorgestellt, wie Modelle automatisch generiert werden, um den Modellbildungsprozess zu beschleunigen.

3 Automatische Generierung von Simulationsmodellen

3.1 Konzeptmodell

Zur Durchführung von Simulationsstudien ist zunächst ein softwareunabhängiges *Konzeptmodell* (vgl. Bild 3-1) erforderlich.

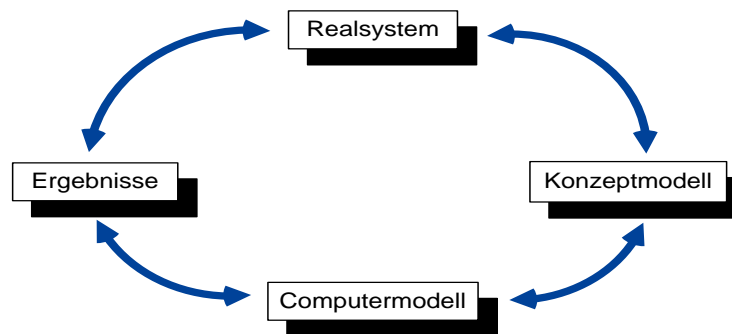


Bild 3.1: Modellierung nach *Robinson 2004 S. 52*

Daraus wird ein *Computermodell* abgeleitet, welches Ergebnisse liefert, die mit dem *Realsystem* abgeglichen werden. Der Abgleich führt bei zu großen Abweichungen zu einer Modifizierung des Konzeptmodells und in Folge des Computermodells. Der iterative Charakter der Modellbildung wird deutlich. Die automatische Generierung von Simulationsmodellen, d. h. von Computermodellen, benötigt ein allgemeines Konzeptmodell als Grundlage, da bestimmte Beziehungen festliegen und Randbedingungen eingehalten werden müssen.

Zur Erstellung eines Konzeptmodells ist es daher zunächst erforderlich, die dem System zu Grunde liegenden Prozesse allgemeingültig zu formulieren.

Die Logistikprozesse einer Baustelle zielen darauf ab, das erforderliche Material von der Baustellengrenze über eventuelle Zwischenlager zum Einbauort zu bringen. Für die Entfernungs- und Zeitüberbrückung stehen verschiedene Ressourcen zur Verfügung.

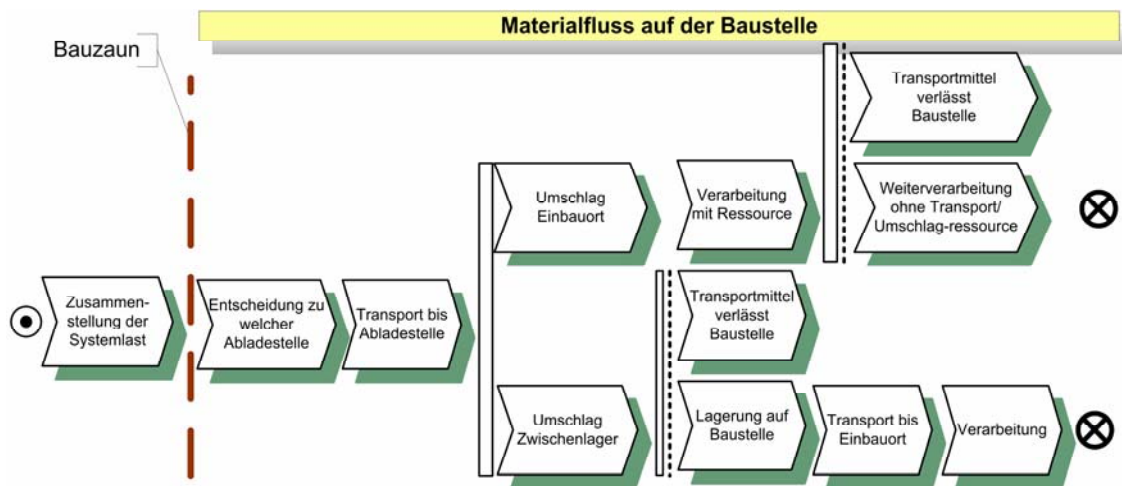


Bild 3.2: allg. Prozesskette Materialfluss auf Baustellen

Bild 3-2 zeigt eine grobe Prozesskette, die unabhängig von einem konkreten Bauvorhaben ist, da weder Strukturen noch Ressourcen festgelegt sind. Dieses grobe Konzeptmodell bildet die Basis für die in diesem Beitrag vorgestellte Methode zur automatischen Generierung von Modellen.

Moderne Simulationsprogramme verwenden häufig vorgefertigte Bausteine für die Objekte im Modell. Sie stellen ein strukturorientiertes Layout mit kartesischen Koordinaten zur Verfügung, in dem die erforderlichen Objekte maßstäblich angeordnet und in Beziehung gesetzt werden können. Die vorgefertigten Bausteine bieten bereits eine Reihe von Grundfunktionalitäten, können aber zusätzlich mit weiteren Funktionen ausgestattet werden.

In *Weber 2006* (S. 575-578) wurde eine Bibliothek von branchenspezifischen Bausteinen vorgestellt, mit denen man in einer Simulationsumgebung Modelle zusammenstellen kann. Hierzu werden die Bausteine parametrisiert, entsprechend dem Baustelleneinrichtungsplan angeordnet und miteinander verknüpft. Die Parametrisierung erfolgt für die geometrischen, kapazitiven und maschinellen Größen der Bausteine, die Ressourcen repräsentieren. Bei den Bausteinen handelt sich dabei im Wesentlichen um Transport-, Umschlag- und Lagerungsbausteine.

3.2 Systemlasterzeugung

3.2.1 Vorhabensspezifische Daten

Vorhabensspezifische Daten sind Daten, die für ein spezielles Bauvorhaben erzeugt bzw. ermittelt wurden. Dies sind im Wesentlichen Pläne und Ausschreibungstexte und bilden die Grundlage zur Generierung der Systemlast.

Ein Ansatz dazu ist die Nutzung von Gebäudemodelldaten (3D-CAD) (*Clausen 2006, S.43ff*). Wie in *Weber 2006 (S. 571 ff)* ausgeführt, bieten 3D-CAD Daten eine gute Grundlage zur Erzeugung von Systemlasten für eine Simulation. Sie liefern die Informationen von Material, Menge und Ort der Bauteile, aus denen ein Gebäude besteht. Die Systemlast ist die Gesamtheit aller Auftragsdaten, die auf ein System einwirken. Auf der Baustelle sind die Materialien zu einem bestimmten Zeitpunkt zum Lager- bzw. zum Einbauort zu transportieren. Die Gebäudemodelldaten lassen sich über eine Schnittstelle in eine Datenbank überführen und liefern auf Bauteilebene die Materialien, Mengen und Orte, die zur Errichtung eines Gebäudes erforderlich sind. Der Ort ergibt sich aus der Lage des Bauteils in kartesischen Koordinaten des Gebäudemodells. Eine Verknüpfung mit den Zeiten aus dem Bauzeitenplan komplettiert die Systemlast.

Die zeitliche Komponente ist die wichtigste, da die anderen konstant bleiben, während die Variation der Zeit zu verschiedenen Logistikkonzepten korrespondiert.

3.2.2 Vorhabenunabhängige Daten

Neben den vorhabensspezifischen Daten ist eine Reihe von vorhabenunabhängigen, logistischer (Stamm-) Daten nötig, mit deren Hilfe sich aus den Materialien, die in den Maßeinheiten m^2 , m^3 , t und Stk vorkommen, logistische Einheiten erzeugen lassen. Logistische Einheiten sind Packstücke, Lade- und Transporteinheiten, sowie eventuell Lagereinheiten. Die Kapazität der eingesetzten Ressourcen wird in diesen Einheiten gemessen, so dass die Materialströme durch diese Umwandlung dargestellt werden können. Trockenbauwände werden z. B. häufig in m^2 Wandfläche angegeben und werden als logistische Einheit auf Sonderpaletten geliefert. Aufgrund des Gewichts ist die Anzahl an Sonderpaletten pro Lkw begrenzt, womit sich die Transporteinheit (maximal transportierbare ‚Wandfläche‘ pro Lkw)

ergibt.

Darüber hinaus sind weitere unabhängige Daten erforderlich, um eine realistische Systemlast zu erzeugen. Einerseits müssen im Gebäudemodell nicht vorhandene Bauteile (z. B. Bewehrung) von den vorhandenen abgeleitet werden (z. B. über den Bewehrungsgrad).

Andererseits sind u. U. auch sekundäre und terziäre Produkte, die nicht im Gebäudemodell abgebildet sind, zu berücksichtigen. Hier sei als Beispiel die Schalung genannt. Abhängig vom eingesetzten Bauverfahren ergeben sich unterschiedliche Produktmengen, deren Materialflüsse für die Simulation von Bedeutung sind.

3.3 CAD-Daten zur automatischen Modell-Generierung

Ein wesentlicher Vorteil der CAD-Daten zur Systemlastgenerierung ist die bereits enthaltene Orts-Komponente. Damit wird das Ziel des ‚Warentransportes‘ auf der Baustelle beschrieben. Bei anderen Datenzusammenstellungen, wie die Massenermittlung, fehlt diese Angabe, die jedoch für eine Simulationsstudie bezüglich des Materialstromes erforderlich ist.

Nutzt man das Gebäudemodell, mit der ein Großteil der Systemlast beschrieben werden kann, auch in der Baustelleneinrichtungsplanung, ist dies für eine automatische Generierung von Simulationsmodellen von Vorteil. Dieses erweiterte Gebäudemodell liefert Basisdaten für die Systemlast und das System. Alle relevanten Ressourcen wie

- Einfahrten,
- Krane;
- Läger;
- Aufzüge,

werden in der CAD-Zeichnung angeordnet und parametrisiert. Die Ressourcen sind als *Objekte* im CAD anzulegen, um die Metadaten in einer standardisierten Weise auslesen zu können. Objekte in der CAD sind Zeichnungselemente, die in einer Bibliothek abgelegt und deren Eigenschaften wie Abmessungen, Oberflächen usw. verändert werden können. Typische Elemente, die als Objekte abgelegt werden, sind Fenster oder Möbel. Als Objekte können diese mit ihrer komplexen

Struktur einfach in die Zeichnungen eingebunden werden. Baustellenressourcen, wie z. B. Krane oder Läger, sind ebenfalls als Objekte zu handhaben. Für Simulationsstudien sind die Eigenschaften bei bestehenden Objekten um simulations-spezifische zu erweitern. Im Folgenden werden die erforderlichen Simulationseigenschaften exemplarisch für Kran und Lager aufgeführt.

3.3.1 Kraneigenschaften

Neben dem Standort auf der Baustelle (in kartesischen Koordinaten) lassen sich die Eigenschaften wie folgt gliedern:

- Leistungsdaten
 - maximale Last
 - Lastgeschwindigkeit in alle Transportrichtungen
 - Reichweite und Höhe
- Verbindungen zu anderen Ressourcen
 - Eingang
 - Abladestellen 1 - n
 - Lager 1 - n
 - Ausgang
 - Einbauort
 - Lager 1 - n
- Einsatzzeit
 - Von TT:MM:JJJJ bis TT:MM:JJJJ

3.3.2 Lagereigenschaften

Läger sind im Bauwesen in der Regel Freiflächen ohne technische Ausstattung. Dies gilt für Auenlager ebenso wie für Etagenlager. Daher lassen sie sich weitestgehend gleich beschreiben:

- Leistung
 - Größe in m²
 - Kapazität in Abhängigkeit der Materialart
 - maximale Bauteilgröße /-gewicht

- Verbindungen zu anderen Ressourcen
 - Eingang
 - Kran 1 - n
 - Selbstblader
 - Ausgang
 - Handtransport
 - Kran 1 - n
- Einsatzzeit
 - Offen von TT:MM:JJJJ bis TT:MM:JJJJ
 - Für Kran nicht mehr erreichbar von TT:MM:JJJJ (Etagenlager)

Zusammenfassend stellt die folgende Abbildung (Bild 3.3) den Datenfluss zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen dar.

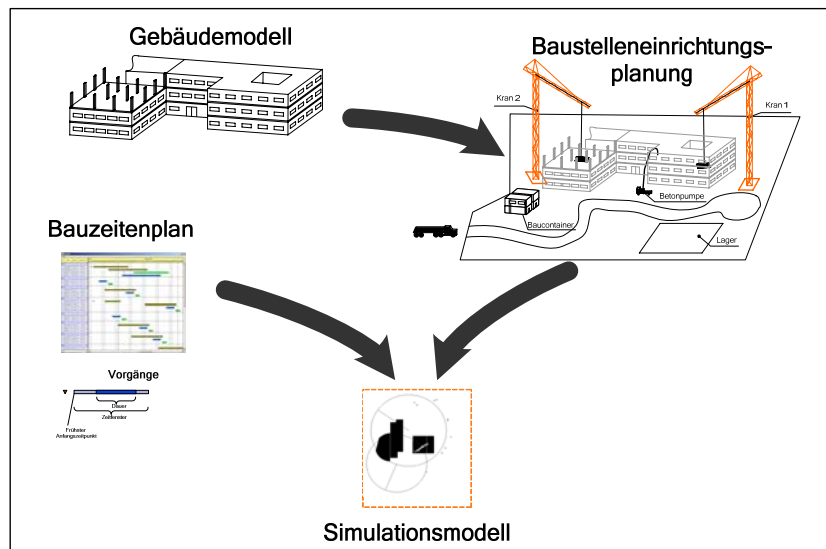


Bild 3.3: Daten für das Simulationsmodell

3.4 Nacharbeit

Automatisch generierte Simulationsmodelle erfordern trotz allem die Nacharbeit.

Zum Einen muss die Modellierung vervollständigt werden. Der Aufbau eines Wegenetzes ist im CAD genauso aufwändig wie in der Simulationsumgebung, da die Wegeelemente (Kurven und Geraden) als Objekte verarbeitet werden müssen.

Zum Anderen müssen Strategien abgebildet werden. Dies geschieht einerseits über die Veränderung der Systemlast und andererseits über das Verhalten der

Simulationsobjekte (Ressourcen). Strategie wird hier im spieletheoretischen Sinne ohne zeitliche Komponente verwendet, im Gegensatz zu einer unternehmenspolitischen (langfristigen) Strategie. Über die Systemlast wird bestimmt, welche Teilmengen zu welchem Zeitpunkt zur Baustelle geliefert werden. Hier sind zwei Wege denkbar. Eine statische Variante, bei der die Zeitpunkte fix sind und das System auf die Einwirkung reagiert, oder eine dynamische Variante. Letztere ist komplexer, da das System ‚selbstständig‘ die Systemlast steuert (Pullprinzip) und die Lieferzeitpunkte zur Laufzeit festlegt.

Über das Verhalten der Simulationsobjekte werden bestimmte Strategien abgebildet, d. h. in welcher Form das System auf die Einwirkungen reagiert. Es bildet im Wesentlichen die Entscheidungen der Bauleitung ab, z. B. wann wo etwas gelagert wird.

Die Umsetzung von Strategien erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen der Arbeitsvorbereitung als Planungsexperten und den Simulationsexperten. Aufgrund der relativ geringen Menge an theoretischem Wissen über die Strategien am Bau und der Komplexität, menschliche Entscheidungen in Simulationsereignisse umzusetzen, ist Nacharbeit umfangreich.

4 Ausblick

Die Möglichkeiten einer Simulationsstudie auf Basis einer erweiterten Baustellen-einrichtungsplanung werten die Arbeitsvorbereitung auf und liefern ein weiteres Argument für die Nutzung von, in der Erstellung aufwändigeren, 3D-CAD-Daten. Um den Aufwand einer solchen Studie weiter zu verringern, sind weitere branchenspezifische Bausteine für die Simulationsumgebung zu entwickeln. Insbesondere die Parametrisierung ist für die Anpassung an die Realsysteme ratsam. So lassen sich auch komplexere Baustellen mit einer größeren Bandbreite an Ressourcen abbilden. Die Beschreibung der Bausteine sollte zunächst konzeptionell erfolgen, um programmunabhängig sein.

Auf der CAD-Seite ist ebenfalls eine Bibliothek mit Objekten zu entwickeln, die zu denen in der Simulationsumgebung korrelieren. Hier können allerdings die Eigenschaften von bestehenden Objekten der Baustellenvorbereitung erweitert werden. Daran anschließend muss die Weiterentwicklung der verschiedenen Schnittstellen

aus den CAD-Programmen weiter voran getrieben werden, um ein plattformunabhängiges Arbeiten zu ermöglichen. Die IFC-Schnittstelle bietet z. Z. zwar die ‚unabhängigste‘ Form des Datenaustausches, liefert aber keine keinerlei aggregierte Daten, d. h. Mengen und Flächen müssen aus den Grunddaten ermittelt werden. Andere nutzbare Schnittstellen sind die ODBC- oder die VRML- Schnittstelle, die aber nicht plattformunabhängig sind.

Die Aufarbeitung des ‚Erfahrungswissens‘ auf der Baustelle ist für die simulative Umsetzung wichtig, da das theoretische Wissen gering und bisher nicht vergleichend prüfbar ist. Das ‚Erfahrungswissen‘ muss dazu in simulationsaffine Regeln und Entscheidungen übersetzt werden. Die Simulation bietet eine Reihe Möglichkeiten ‚virtuelles Erfahrungswissen‘ aufzubauen.

Literatur

Chahrour, R. ; Franz, V. (2006) : Integration von CAD und Simulation zur Analyse von Erdbauprozessen. In: Simulation in Produktion und Logistik 2006. Hrsg: Wenzel, S., SCS Publishing House e.V., 2006.

Clausen, U.; Weber, J. (2006): Nutzung von Gebäudedaten in der Baulogistik. In: Baulogistik-Konzepte für eine bessere Ver- und Entsorgung im Bauwesen. Hrsg: Clausen, Uwe, Verlag Praxiswissen, 2006.

Lennerts, K. (1996): Ein hybrides, objektorientiertes System zur Planung optimierter Baustellenlayouts, 1996.

Töpfer, Regina (2001): Baustelleneinrichtungsplanung. Hrsg: TU Dresden, expert verlag.

Weber, J. (2006): Simulation von Logistikkonzepten auf Baustellen. In: Simulation in Produktion und Logistik 2006. Hrsg: Wenzel, S., SCS Publishing House e.V., 2006.

Robinson, St. (2004) „Simulation. The Practice of Model Development and Use“, John Wiley & Sons Ltd, 2004.

Dipl.-Ing. Christina Barking e Ferrão

3D und 4D-Modelle im Bereich Erd- und Straßenbau

Dipl.-Ing. Christina Barking e Ferrão

STEAG encotec GmbH

Rüttenscheider Straße 1-3, 45128 Essen

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	115
1 Planung im Straßenbau nach der herkömmlichen Methode	115
2 Planung im Straßenbau mit der weiterentwickelten Methode	116
2.1 3D-Volumenkörpermodell (<i>3D solid modelling</i>).....	116
2.2 4D-Modell - zeitlich animierte Simulation	117
2.3 Verwendete Softwareprogramme	118
3 Nutzen der 3D und 4D-Modelle.....	119
4 Input	121
5 Output	121
6 Herausforderungen und Umsetzung	123

Kurzfassung

3D und 4D-Modelle im Erd- und Straßenbau dienen als Werkzeug für Konzept, Planung sowie Durchführung eines Bauvorhabens und unterstützen überdies die Kommunikation aller Projektbeteiligten. Mit der Abbildung aller Komponenten des Straßenbaus können u. a. Kollisionen erkannt und mit Hilfe der Volumenkörper zu jedem Zeitpunkt Massen, Flächen, Längen etc. abgerufen werden. Darüber hinaus stehen dem Ingenieur über die Verlinkung zu Excel und MS-Project zusätzliche Informationen in technischer und planerischer Hinsicht zur Verfügung. Eine über die Zeit animierte 4D-Simulation visualisiert den Bauablauf und bringt Transparenz in das Verkehrsmanagement.

Der Hauptnutzen des Modells liegt vor allem darin, im Ergebnis technische Informationen zu extrahieren. Die Visualisierung ist dabei lediglich Mittel zum Zweck.

Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz und die Akzeptanz von 3D und 4D-Modellen ist, diese Technologie und Methode fortzuentwickeln und im Austausch mit Ingenieuren und Softwarebetreibern zu optimieren und automatisieren.

Das Zusammenwirken theoretischer Konzepte und überzeugender Praxiserfolge ermöglicht eine erfolgreiche Umsetzung zukunftsorientierter Technologien, wie sie 3D und 4D-Modelle darstellen.

1 Planung im Straßenbau nach der herkömmlichen Methode

Die Straßenplanung erfolgt zumeist mit Softwareprogrammen wie beispielsweise MXRoad. Diese Programme sind Tools für eine umfassende Planung und Berechnung von Straßentrassen unter Berücksichtigung geltender Vorschriften wie z. B. Mindestradien. Sie bieten die Möglichkeit, alle Komponenten der Trasse wie Bordsteinkanten, Fußgängerwege etc. und darüber hinaus die Schnittlinien zwischen Böschungen des neuen Trassenverlaufs mit dem vorhandenen Untergrund zu berechnen sowie darzustellen. Die Komponenten der Trasse werden in der Regel entweder in Form von 3D-Linien (*alignment*), die über ihre geometrischen Eigenschaften hinaus als „intelligente Objekte“ ihre Komponenteneigenschaft kennen, z. B. „Bordsteinkante“, oder einer Aneinanderreihung repräsentativer Querschnitte

wiedergegeben. Die Programme erlauben es mit Hilfe der 3D-Koordinaten, Flächen (*reference surface*) zur Volumenermittlung aufzuspannen.

Diese Methode hat sich in der Praxis bei hinreichend einfachen Trassenverläufen bewährt. Sobald die Geometrien jedoch an Komplexität zunehmen, stößt die Planung nach der herkömmlichen Methode an ihre Grenzen. Zum einen erweist sich in diesen Fällen das Erstellen von *reference surfaces* als undurchführbar, da sich schon die 3D-Linien auf konventionelle Weise erst gar nicht generieren lassen (beispielsweise bei einer komplexen Wiederverfüllung). Zum anderen kann bei komplexen Bauweisen nicht immer mit Sicherheit gewährleistet werden, dass tatsächlich die korrekten *reference surfaces* ausgewählt werden. Die Planung am Rechner erfolgt zwar dreidimensional, das Output wird jedoch zumeist nur zweidimensional in Form von Zeichnungen (wie Draufsichten und Schnitte) weiterverwendet. Für die Planung von Bauabläufen und Verkehrsmanagement stellen 2D und selbst 3D Ausführungen nach der herkömmlichen Methode lediglich eine Momentaufnahme dar.

2 Planung im Straßenbau mit der weiterentwickelten Methode

Diese Aspekte waren Anlass, die herkömmliche Methode zu verbessern und weiterzuentwickeln. Während meiner zweijährigen Tätigkeit bei Laing O'Rourke (www.laingorourke.com) habe ich verschiedene Methoden entwickelt, 3D-Volumenkörpermodelle zu generieren, die eine Lösung für die genannten Probleme bieten. Zusätzlich wurde die Methode dahingehend weiterentwickelt, dem Modell durch die Zuordnung von Eigenschaften und Attributen zu grafischen Objekten eine Intelligenz zu geben und – verlinkt mit einem MS Project Plan – ein zeitlich animiertes 4D-Modell zu erstellen.

2.1 3D-Volumenkörpermodell (3D solid modelling)

Abhängig von den Ausgangsdaten und der Zielsetzung des Straßenbauprojektes gibt es unterschiedliche Methoden, ein Volumenkörpermodell zu erstellen. Grundlage hierfür bilden im Allgemeinen die Daten des Straßenplaners und Vermessers. Hierauf aufbauend wird zunächst ein Oberflächenmodell erstellt, welches Basis für das Volumenmodell und schließlich Bestandteil des 4D-Modells ist.

Mit der Generierung eines 3D-Volumenkörpermodells muss der Ingenieur nicht mehr auf *reference surfaces* zurückgreifen und Gefahr laufen, falsche Massen zu berechnen. Vielmehr kann er die Massen direkt aus dem Volumenkörpermodell messen und ist somit in der Lage, nachhaltig nachzuvollziehen, tatsächlich die korrekten Massen ermittelt zu haben.

Nicht nur für die Massenermittlung spielt das Modell eine bedeutende Rolle. Es kann darüber hinaus zu einem kompletten Abbild des Projektes ausgebaut werden. Durch Hinzufügen von Komponenten wie Medienführung, Rohrleitungen, Schächten, Brücken und Stützmauern kann die Gesamtplanung überprüft werden. Auf diese Weise lassen sich Planungsfehler und Kollisionen aufdecken. Die mit Eigenschaften und Attributen verbundenen und verknüpften Elemente des Modells bilden eine „Informationsbasis“, die sämtliche Informationen eines Projektes zentral bündelt. Durch das Vermeiden mehrerer, gegebenenfalls widersprüchlicher Informationsquellen kann wertvolle Zeit und Geld gespart, die Gefahr der Fehlplanung minimiert und die Flexibilität der Planung optimiert werden. Als Werkzeug für Zusammenarbeit und Kommunikation unterstützt das Modell die Projektleitung, ein Bauvorhaben zeit- und kostennah sowie zur Kundenzufriedenheit fertig zu stellen.

Jede Komponente des 3D-Modells kann mit Attributen versehen werden, die als „Engineering Link“ mit dem Modell in Form einer Excel Tabelle verlinkt und durch einen „Mausklick“ aufgerufen werden können. Über den „Engineering Link“ ist es möglich, Informationen mit grafischen Objekten des Modells zu verlinken, die dann an anderer Stelle genutzt werden können. Es lassen sich tabellarische Auswertungen generieren, die verschiedene Informationen über das Projekt beinhalten. Mit dieser Möglichkeit kann der Ingenieur Daten wie z. B. die Menge, Dauer und Geräteketten bzgl. des Erdaushubs etc. direkt von dem Modell abrufen.

2.2 4D-Modell - zeitlich animierte Simulation

Das Hinzufügen der vierten Dimension, dem Zeitfaktor, ermöglicht es, den Bauablauf und -fortschritt nach einem vorgegebenen Terminplan in einer zeitlich animierten Simulation zu visualisieren. Durch diese 4D-Simulation kann der Projektleiter im Vorfeld Engpässe erkennen und gezielte Gegenmaßnahmen ergreifen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass der geplante zeitliche Bauablauf in

der Praxis tatsächlich umsetzbar ist. Überdies lassen sich durch ein 4D-Modell in jeder Phase des Straßenbaus verschiedene Planungsvarianten „durchspielen“.

Durch die Verlinkung von Vorgängen des MS-Project Plans mit grafischen Objekten des 3D-Modells können Änderungen im Zeitplan durch Aktualisierung des 4D-Modells in Echtzeit visualisiert werden. Da die Vorgänge in MS-Project mit Prioritäten, Personalressourcen, alternativen Verwendungen von Ressourcen usw. versehen werden können, sind im Ergebnis auch die 3D-Elemente durch das 4D-Modell mit diesen Informationen verknüpft.

Des Weiteren kann die 4D-Simulation den Bauablauf in Form von verfügbaren Lagerflächen, Montagewegen, Materialbewegungen etc. verdeutlichen. „Bewegte“ Mengen (Erdaushub, Straßentragschichten, Wiederverfüllung etc.) können über die Zeit quantitativ festgehalten werden (beispielsweise wie viel m³ Erde an bzw. bis zu einem bestimmten Datum ausgehoben wurden). Bei Bedarf erlaubt das 4D-Modell, den Fokus auf spezielle Teilabschnitte des Projektes zu legen. Im Bereich des Verkehrsmanagements kann das 4D-Modell Basis für weitere Phasen der Verkehrsführung während und nach der Bauzeit sein.

2.3 Verwendete Softwareprogramme

Meine Erfahrungen auf Straßenbauprojekten in Dublin, Cardiff und Nottingham haben gezeigt, dass es bislang unabdingbar ist, mit einer Mindestanzahl an Softwareprogrammen zu arbeiten. Dies ermöglicht es, die verschiedenen Vorteile eines jeden einzelnen Programms optimal zu nutzen:

- Planen und Generieren eines 3D-Modells in **MX Road** oder **InRoads**.
- Generieren des Volumenkörpermodells mit **MicroStation** oder **AutoCad**.
- Rendern / Navigieren des Modells mit **Bentley Architecture** oder **3DStudioViz/Max**.
- 4D-Simulation durch Verlinkung zwischen **MS-Project** und **Bentley Navigator**.
- Erstellen eines detaillierten Modells, welches Verkehrsmanagementdetails wie Ampeln, Straßenabsperungen etc. dreidimensional darstellt mit **Autodesk Key 3D**.
- Verlinken von Informationen als „EngineeringLink“ zwischen **Excel** und **MicroStation**.

3 Nutzen der 3D und 4D-Modelle

3D und 4D-Modelle im Erd- und Straßenbau stellen ein Hilfsmittel dar, welches das Planen, die Analyse sowie die Ausführung einzelner Bauprozesse unterstützt und optimiert, Risiko minimiert, Kosten senkt, unnötigen Aufwand für Umbau und Änderungsmaßnahmen durch Fehlplanung vermeidet und die Durchführung eines komplexen Bauprogramms erleichtert.

Einzelne Komponenten wie z. B. das Trinkwasser- und Schmutzwassersystem komplettieren nicht nur das Modell. Sie können auch einzeln betrachtet und bearbeitet werden, um anschließend dem Modell wieder zugefügt zu werden. Auf diese Weise können relevante Informationen für bestimmte Lieferanten einzeln extrahiert und weitergegeben werden. Dadurch, dass alle Informationen in einem einzigen Modell zusammenlaufen, kann immer sichergestellt werden, dass keine unterschiedlichen Informationen an die jeweiligen Projektbeteiligten gelangen.

Die Anwendung eines in Echtzeit animierten Modells visualisiert den Bauablauf in vielerlei Hinsicht: Insbesondere hilft eine solche Simulation, zu gewährleisten, dass der Bauablaufplan in sich logisch und schlüssig ist. Darüber hinaus kann die Simulation einzelner Arbeitsschritte als anschauliche Instruktion für die Bauarbeiter vor Ort dienen und trägt somit der Arbeitssicherheit bei.

Durch die fortwährende Aktualisierung des Modells bietet es mit Abschluss des Bauvorhabens die Möglichkeit, die „as-built“ Situation genau zu dokumentieren. Auf diese Weise ist der Betreiber auch nach der Fertigstellung der Baumaßnahme in der Lage, die exakte Position der Leitungen zu lokalisieren, z. B. im Falle von Erneuerungs- oder Umbaumaßnahmen.

Im Einzelnen hilft das 3D und 4D-Modell,

- **Eigenschaften** wie beispielsweise das Volumen der Komponenten aus dem Erd- und Straßenbau zu extrahieren
- **Attribute** wie Kosten, Material, Kolonnenstärke etc. zu entnehmen
- das Projekt mittels **Verlinkung** zeitlich zu **simulieren**
- Transparenz in Abläufe und **Abhängigkeiten** verschiedener Prozesse während der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphase zu bringen
- **Schnitte** an jeder beliebigen Stelle des Modells zu generieren

- sämtliche Daten innerhalb des Projektteams **weiterzugeben** und **wiederzuverwenden**
- alle Projektbeteiligten untereinander zu **koordinieren**
- das Verständnis aller Projektbeteiligten durch **Visualisierung** zu erhöhen
- den Entwurf **transparent** zu gestalten und dadurch die **Vorstellungskraft** zu stärken
- es aus jedem Winkel zu **prüfen** (*fly through*)
- **Änderungen** der Planung problemloser vorzunehmen und durch Hinzufügen von Medien und Bauwerken zu **komplettieren**.

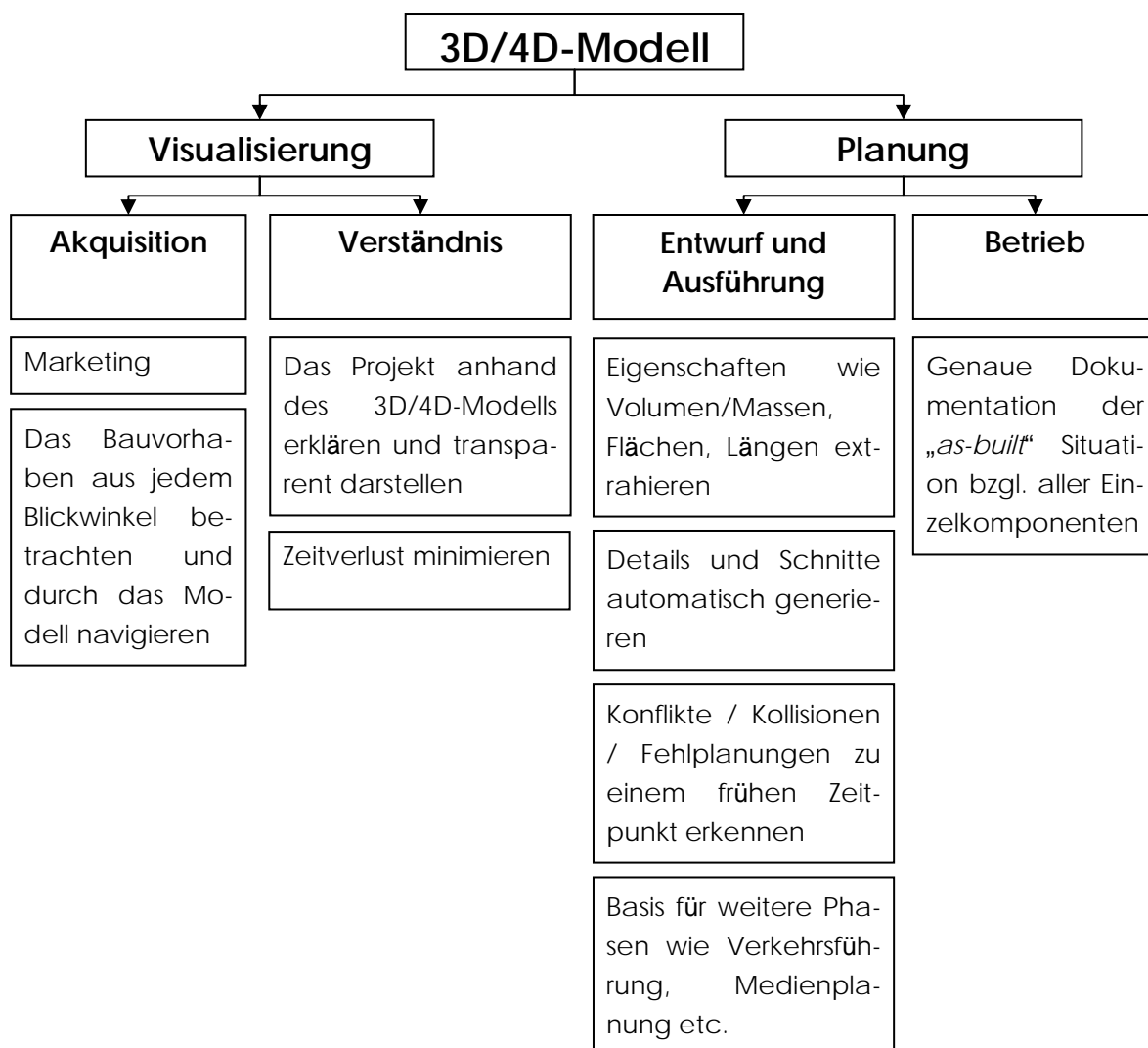


Bild 3.1: Nutzen des 3D und 4D-Modells im Überblick

4 Input

Das 3D und 4D-Modell bezieht seinen Input aus den Sparten Bauwerke, Straßenplanung und Bauausführung. Das Zusammenspiel aller Komponenten ergibt schließlich das komplette Modell. Das Erstellen des Modells ist ein iterativer und in die Planung integrierter, das gesamte Projekt begleitender Prozess. Alle Projektbeteiligten sind dabei im ständigen Informationsaustausch.

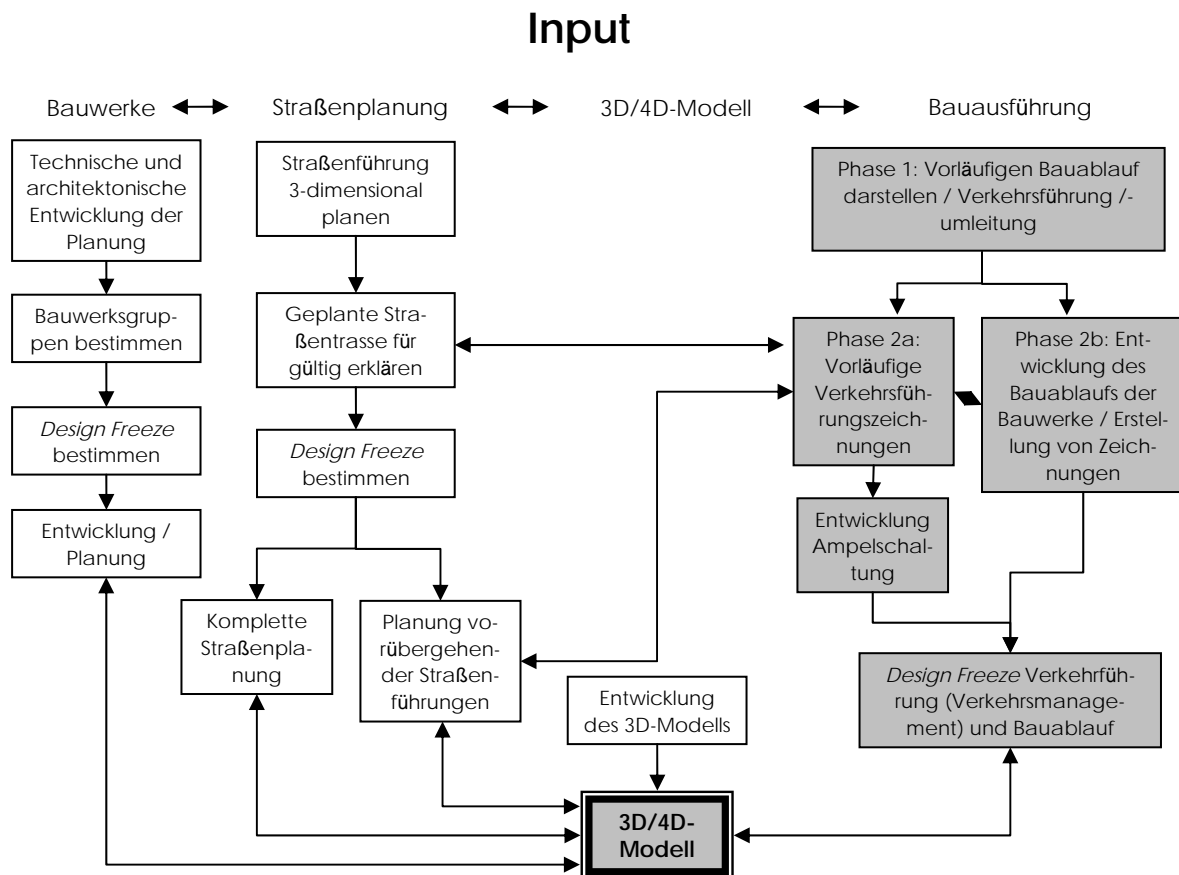


Bild 4.1: Input

5 Output

Das Modell bietet verschiedenen Output. Im Allgemeinen profitieren die Sektoren Bauausführung, Verkehrsmanagement, Projektmanagement und Arbeitssicherheit hiervon.

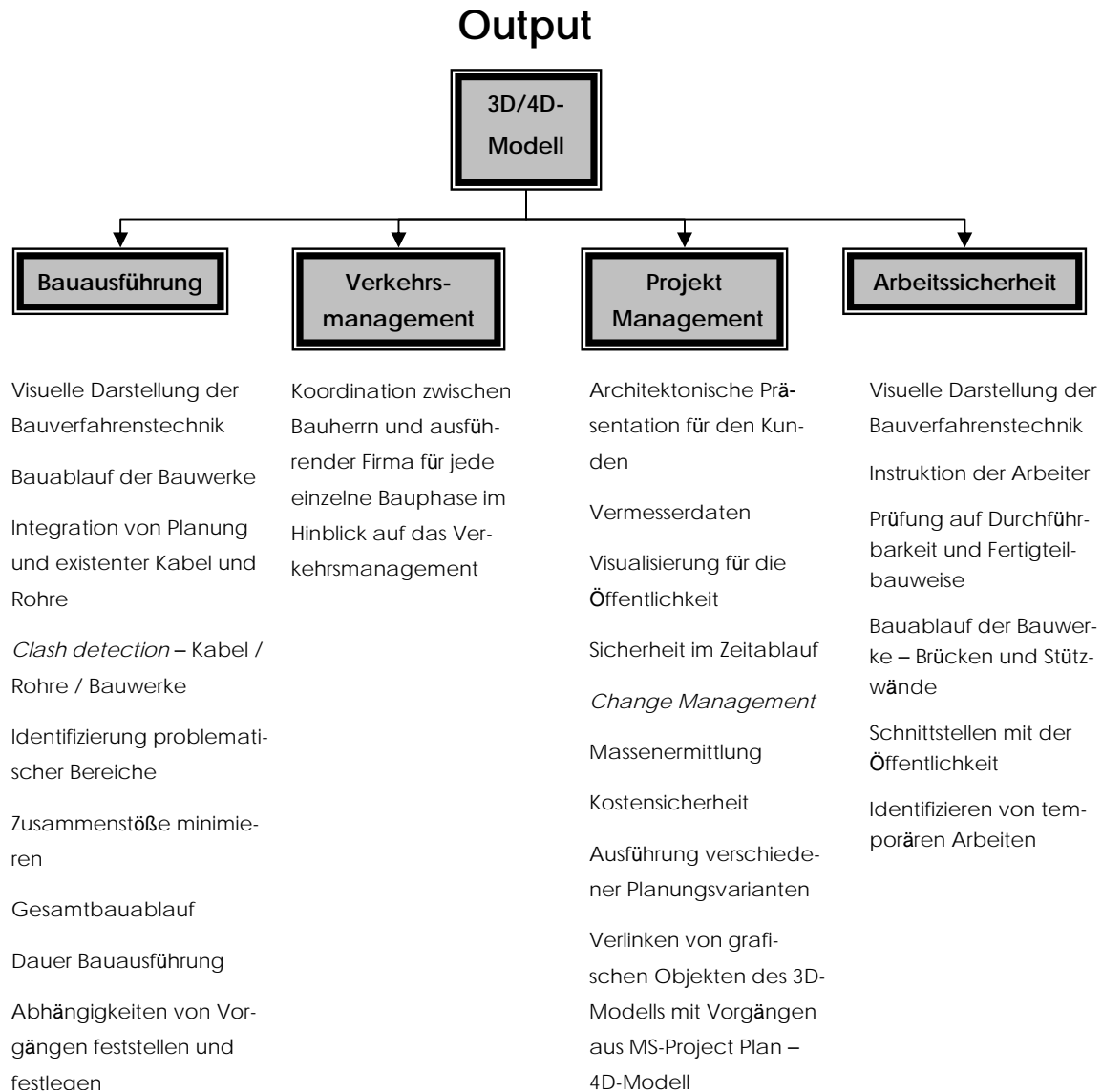


Bild 5.1: Output

Herauszuheben aus dem Bild 5.1 ist auf dem Gebiet der Bauausführung die *Clash detection*. Sie ist von hoher Bedeutung, da Kollisionen zwischen Medienführung und Bauwerken aufgedeckt werden können. Dies gibt die Möglichkeit, die Planung gegebenenfalls frühzeitig anzupassen, bevor es zur tatsächlichen Ausführung kommt.

Bezogen auf das Verkehrsmanagement können 2D-Zeichnungen nicht viel mehr als nur eine Momentaufnahme des Bauablaufs wiedergeben. Das zeitlich animierte 4D-Modell hingegen ist in der Lage, den gesamten Bauprozess zu visualisieren

und auf diese Weise die Planung zu verifizieren sowie eventuelle Planungsfehler zu identifizieren.

6 Herausforderung und Umsetzung

Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Umgang mit 3D und speziell 4D im Erd- und Straßenbau noch sehr ungewohnt ist. Der größte Widerstand scheint zu sein, dass bei den Ingenieuren die Meinung vorherrscht, es gebe keinen ausreichenden Grund, an einer Sache etwas zu ändern, wenn diese seit Jahrzehnten funktioniert. Diesem Widerstand kann nur durch die erfolgreiche Umsetzung neuer Methoden entgegengewirkt werden.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, die Ingenieure nicht nur von dem Nutzen des 3D und 4D-Modells zu überzeugen, sondern auch Aufwand an Zeit und Kosten zur Erstellung des Modells zu rechtfertigen. Die Schwierigkeit liegt zumeist darin, dass sich der Nutzen in Zahlen nur schwerlich messen lässt (*tangible targets*). Ein Vergleich des Projektverlaufs mit und ohne Modell scheitert daran, dass die Vergleichssituation immer nur auf rein hypothetischer Basis beruhen kann.

Dessen ungeachtet steht es außer Frage, dass ein Volumenmodell nur dann notwendig und sinnvoll ist, wenn die Transparenz der Planung durch die herkömmliche Methode nicht mehr sichergestellt werden kann. Um den Aufwand an Zeit und Kosten gering zu halten, ist es von besonderer Bedeutung, die Anforderungen sowie die Zielsetzung an das Modell und die hierzu notwendigen Datenquellen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt zu definieren. Um dem gerecht zu werden, ist es unumgänglich, ein Team bestehend aus den relevanten Projektbeteiligten zu bilden, um die Anforderungen zu strukturieren und Prioritäten zu setzen. Der Erfolg der Umsetzung eines 3D und 4D-Modells hängt insbesondere von der Kommunikation im Projektteam ab. Nur wenn jeder einzelne Projektbeteiligte das Modell als zentrale „Informationsbasis“ und Kommunikationswerkzeug anerkennt, kann es fortlaufend auf dem aktuellsten Stand gehalten werden. Über eine entsprechende Internetplattform, über die nicht nur Informationen, sondern auch (zumindest für die Zeit eines Online-Meetings) Softwareprogramme geteilt werden können, ist die Möglichkeit eines umfassenden Austauschs optimal gegeben.

Dem Erstellen eines 3D und 4D-Modells sind aus technischer Sicht nur wenig Grenzen gesetzt. Die Herausforderung für die Zukunft besteht darin, die Methode zu verbreiten und die Ingenieure von dem Nutzen des Modells nachhaltig zu überzeugen.

Dipl.-Ing. Christian Danz

und

Dipl.-Ing. Stefan Voß

**Harmonisierung von Immobiliendaten in einem
"Projektraum Immobilie" für Facility
Management-Simulationen**

Dipl.-Ing. Christian Danz

Danz Facility Management

Felsberger Str. 19, 34590 Wabern

Dipl.-Ing. Stefan Voß

planConnect GmbH

Strehleener Str. 12, 01069 Dresden

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	127
1 Facility Management (FM).....	127
1.1 Einführung.....	127
1.2 Nutzen des Facility Managements	128
1.3 Spannungsfeld im Facility Management	128
1.4 Facility Management Säulen.....	129
1.4.1 Ganzheitlichkeit	129
1.4.2 Transparenz.....	129
1.4.3 Lebenszyklus	130
1.5 Strukturierung des Facility Managements.....	130
2 Gebäudemanagement (GM)	132
2.1 Einführung.....	132
2.2 Abgrenzung Facility- / Gebäudemanagement.....	133
3 Daten im Facility Management.....	134
3.1 FM gerechte Planung.....	134
3.2 Immobiliendaten für alle Lebenszyklen	134
3.3 FM gerechte Datenbeispiele	135
3.3.1 Die « Tür ».....	135
3.3.2 Die « Raum ».....	135
3.3.3 Die « Feuerlöscher »	136
4 Datendokumentation in der CAD.....	136
5 Planmanagement	138
5.1 Einführung in das Planmanagement	138
5.2 Ziel eines digitalen Planmanagements	139
5.3 Herangehensweise technische Basis für das Planmanagement.....	140
5.3.1 Nachrichten bezogen	140
5.3.2 Dokumenten bezogen.....	140
5.3.3 Das Papier-Dokument im Mittelpunkt.....	141
5.4 Spannungsfeld der Planverwaltung	141
6 Computer Aided Facility Management (CAFM).....	142
6.1 Einführung und Nutzen	142
6.2 Anwendung eines CAFM / Gebäudeinformationssystem.....	143
7 Fazit: Harmonisierung von Immobiliendaten in einem "Projekt- raum Immobilie" für FM-Simulationen	144
7.1 Ausblick	144
7.2 Fazit	147

Kurzfassung

Facility Management (FM) ist eine Managementdisziplin, die dazu dient die permanente Analyse und Optimierung der kostenrelevanten Vorgänge rund um bauliche und technische Anlagen, Einrichtungen und im Unternehmen erbrachte (Dienst-) Leistung, die nicht zum Kerngeschäft gehören zu unterstützen.

Warum nun werden die dafür in allen Bereichen benötigten Daten, die sog. Immobiliendaten, nicht frühzeitig allen Menschen zentral und ortsungebunden zur Nutzung überlassen?

Eine internetbasierte Kopplung von CAD Planunterlagen in einem Planmanagement mit Auswertung durch ein CAFM System, könnte über alle Phasen der FM-Lebenszyklen die Daten zur Verfügung stellen und FM-Simulationen zu lassen.

In dem Artikel wird das Potenzial eines « Projektraum Immobilie » für die Gebäudenutzung aufgezeigt. Wenn nun die bereits am Markt etablierten Systeme in die FM Lebenszyklen eingebunden würden, so dass diese nicht nur als jeweils einzelne Software Komponente eine jeweilige Prozess- Phase unterstützen, sondern als « Projektraum Immobilie » über alle Phasen hinweg im Sinne des FM Gedanken einsetzbar würden, wären Optimierungen von bisher noch unbekanntem Ausmaß möglich.

1 Facility Management (FM)

1.1 Einführung

Facility Management (FM) ist eine Managementdisziplin, die durch ergebnisorientierte Handhabung von Facilities und Services im Rahmen geplanter, gesteuerter und beherrschter Facility Prozesse eine Befriedigung der Grundbedürfnisse von Menschen am Arbeitsplatz, Unterstützung der Unternehmens- Kernprozesse und Erhöhung der Kapitalrentabilität bewirkt. Hierzu dient die permanente Analyse und Optimierung der kostenrelevanten Vorgänge rund um bauliche und technische Anlagen, Einrichtungen und im Unternehmen erbrachte (Dienst-) Leistung, die nicht zum Kerngeschäft gehören.

GEFMA Richtlinie 100, Bonn, Entwurf 2004-07

Auf Grundlage dieser Definition stellt sich nun die folgende Frage mit dem daraus resultierendem Thema:

Warum werden die dafür in allen Bereichen benötigten Daten, die sog. Immobiliendaten, nicht frühzeitig allen Menschen zentral und ortsungebunden zur Nutzung überlassen?

Harmonisierung von Immobiliendaten zur Datensimulation in einem „Projekttraum Immobilie“.

1.2 Nutzen des Facility Managements

Die Sichtweise auf die Anforderungen des FM (Siehe Abb. 1.1) ist sicherlich unterschiedlich je nach Anwender, jedoch grundlegend so darzustellen:

- Nutzen für die Finanzen des Anwenders
- Nutzen für das Kerngeschäft des Anwenders
- Nutzen für die Kunden des Anwenders
- Nutzen für die Mitarbeiter des Anwenders
- Nutzen für die Umwelt

1.3 Spannungsfeld im Facility Management

Eine Immobilie ist sehr stark von verschiedenen Interessen geprägt, denn jeder FM Anwender stellt andere Erwartungen an die Immobilie.

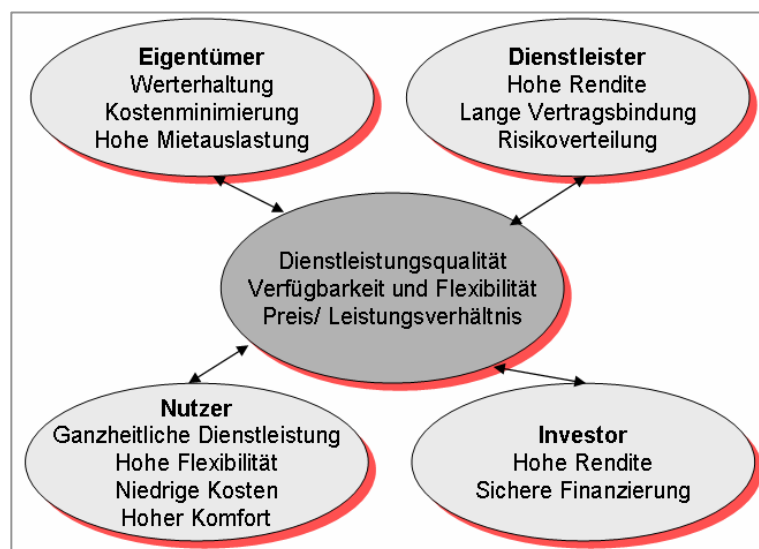


Abb. 1.1: Anwender FM Interessen, Quelle: Danz FM

1.4 Facility Management Säulen

Die „Immobilie“ Facility Management gründet sich im Wesentlichen auf die drei Säulen Ganzheitlichkeit, Transparenz und Lebenszyklus. Sie bilden die Basis für ein funktionierendes FM.

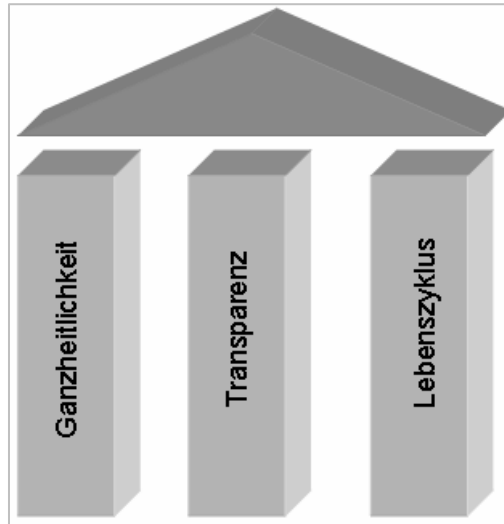


Abb. 1.2: FM Säulen, Quelle: Danz FM

1.4.1 Ganzheitlichkeit

Ganzheitlichkeit ist das fachübergreifende Zusammenwirken aller Projektbeteiligten über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie. Die Bereitstellung aller erforderlichen, übergreifenden Informationen, Betriebsmittel und Personen ist notwendig, um eine optimale Bewirtschaftung einer Immobilie sicherzustellen.

In den einzelnen Abteilungen eines Unternehmens werden Informationen für einen unternehmensübergreifenden Datenpool geschaffen. Unterschieden wird in materielle Objekte (Gebäude, Inventar) und immaterielle Objekte (Flächen, Dienstleistungen, Eigenschaften der Orte). Eine Datenharmonisierung optimiert die jeweiligen Kosten.

1.4.2 Transparenz

Transparenz wird im FM erreicht, indem sämtliche Daten in und um eine Liegen-

schaft ständig auf aktuellem Stand und zu jeder Zeit von jeder Person abgefragt werden kann, die ein Zugriffsrecht auf die Daten hat.

Ein Idealzustand der Liegenschaftsdaten kann nur erreicht werden, wenn die Daten bereits ab der Planungsphase kontinuierlich aufgenommen und aktualisiert werden.

1.4.3 Lebenszyklus

Eine Immobilie „durchlebt“ sechs Phasen wie hier dargestellt:

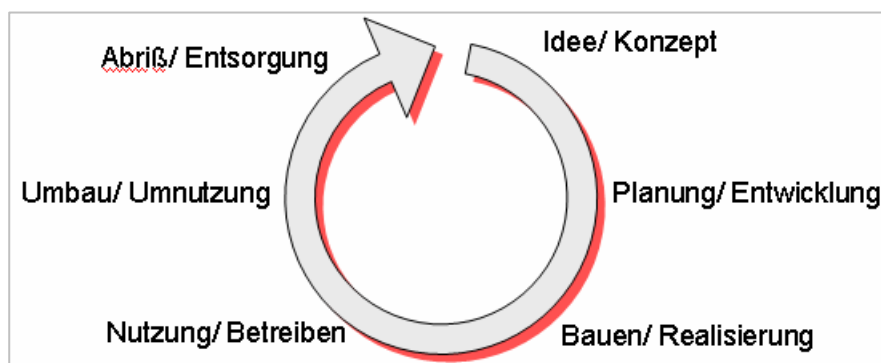


Abb. 1.3: Gebäude- Lebenszyklusphasen, Quelle: Danz FM

Es ist von optimierender Wirkung eine Immobilie nicht mehr nur in der jeweiligen Phase in der sie sich befindet, sondern in dem gesamten Spektrum an Phasen, die sie durchläuft, zu betrachten.

1.5 Strukturierung des Facility Managements

Für eine Strukturierung der Leistungen im Rahmen des FM wird eine Hauptgliederung nach FM- Lebenszyklen wie folgt gewählt:

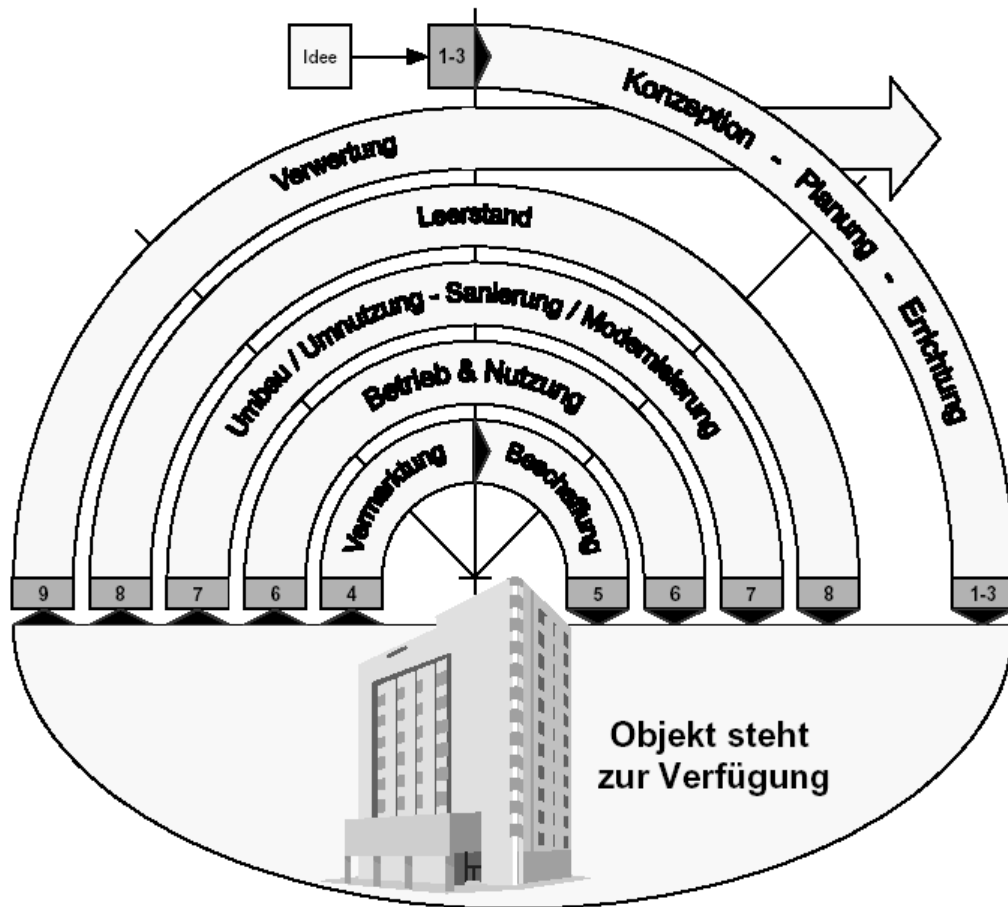


Abb. 1.4: FM- Lebenszyklusphasen (zyklische Darstellung),
Quelle: GEFMA Richtlinie 100-1, 2004

Die Kreisbogengliederung ist so gewählt, dass sich jeweils gängige Begrifflichkeiten ergeben und die sich wiederum im Gebäude- Lebenszyklus (Siehe Abb.1.2) wieder finden. Im FM- Lebenszyklus enthalten sind jedoch alle Prozessphasen im FM.

Die Untergliederung nach Facility Prozessen erfolgt in den Gliederungsebenen:

1. Facility Hauptprozess
 2. Facility Teilprozess
 3. Tätigkeiten
- wie hier dargestellt:

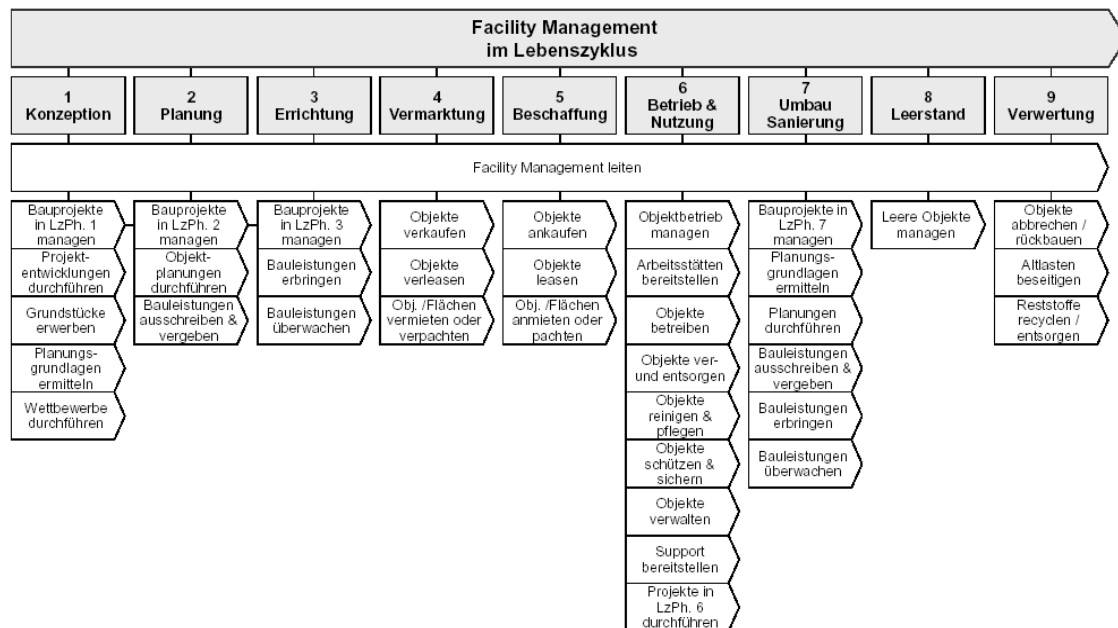


Abb. 1.5: FM-Lebenszyklusphasen (lineare Darstellung) mit FM-Hauptprozessen,
Quelle: GEFMA Richtlinie 100-1, 2004

2 Gebäudemanagement (GM)

2.1 Einführung

Gesamtheit aller Leistungen zum Betreiben und Bewirtschaften von Gebäuden einschließlich der baulichen und technischen Anlagen auf der Grundlage ganzheitlichen Strategien.

DIN 32736 Gebäudemanagement, 2000-08

Das Gebäudemanagement (GM) gliedert sich in vier Leistungsbereiche:

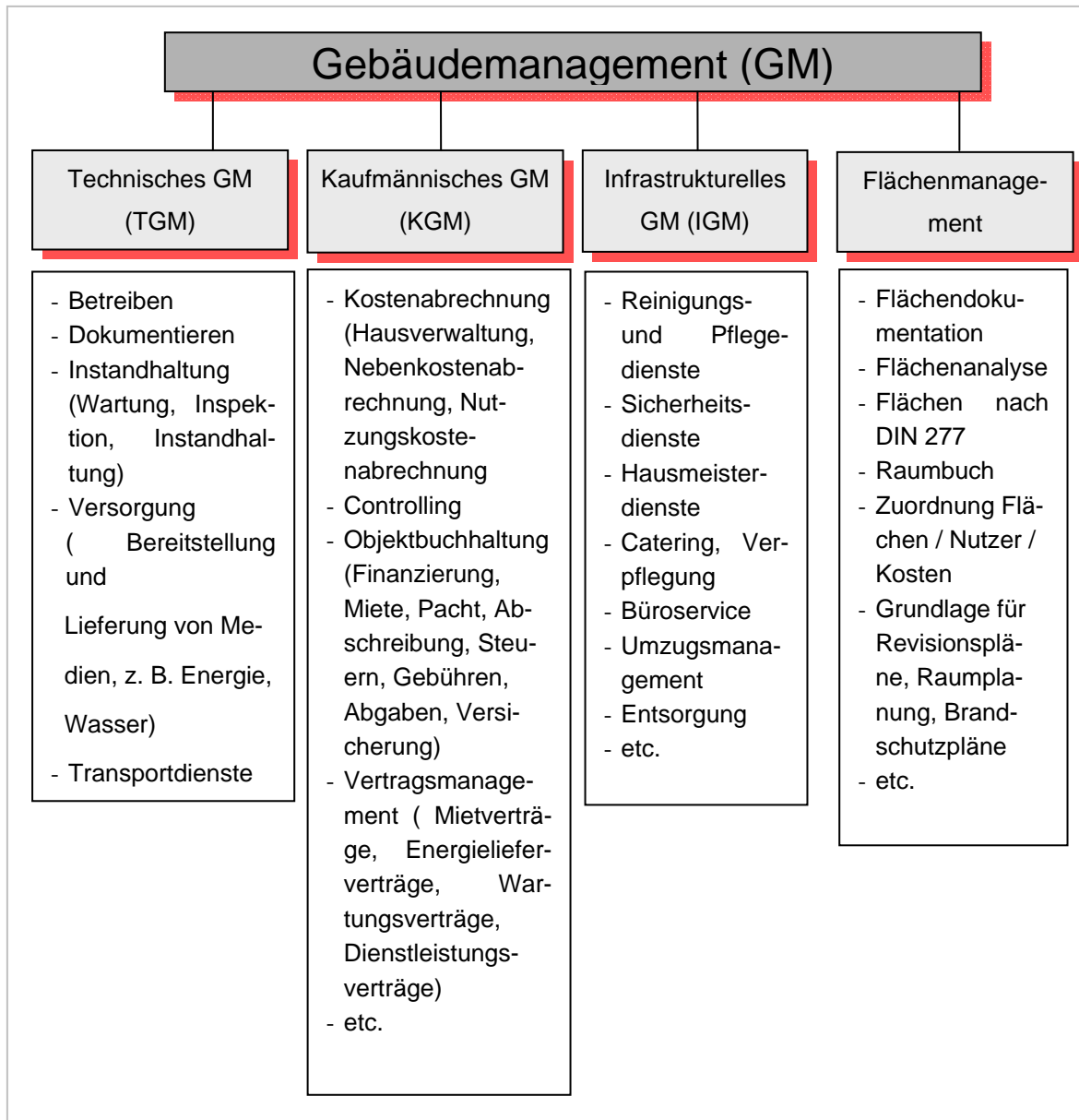


Abb. 1.6: Leistungsbereiche GM, Quelle: Danz FM

Diese Bereiche des Gebäudemanagements müssen in einem Gesamtzusammenhang gesehen werden, da sie einander ergänzen bzw. in einander greifen. Speziell das Flächenmanagement ist in die Bereiche TGM, KGM, IGM sehr stark integriert.

2.2 Abgrenzung Facility- / Gebäudemanagement

GM ist ein Teilbereich des FM, der Leistungen während der Nutzungsphase von Immobilien umfasst. Drei wichtige Unterscheidungsmerkmale:

- Zeithorizont
 - FM überspannt den gesamten Lebenszyklus von Facilities (Objekten)
 - GM nur die Nutzungsphase eines Facilities
- Objekthorizont
 - FM ist objekt- und standortübergreifend
 - GM hingegen ist objektbezogen, d.h. je Objekt kann ein GM realisiert werden
- Organisationshorizont
 - FM beinhaltet eine normative und strategische Führung mit entsprechenden Entscheidungsbefugnissen
 - GM umfasst die operative Führung sowie die Dienstleistung selbst

3 Daten im Facility Management

3.1 FM gerechte Planung

Die optimale FM-gerechte Neubauplanung und Datenharmonisierung beginnt bereits in der Konzept- und Planungsphase. Der FM Gedanke im frühen „Projekt“-Status kann durch folgende Punkte geprägt werden:

- In der Hand des Architekten liegt die Zukunftstauglichkeit eines Gebäudes
- Der Architekt schafft eine ideale Grundlage für FM, indem er verschiedene Nutzungsvarianten für das Gebäude, sowie eventuelle Kostenbremsen für den zukünftigen Betreiber in seine Planungen mit einbezieht
- Einbindung der zukünftigen Dienstleister
- Fokussierung der in der Nutzungsphase anstehenden Bewirtschaftungskosten
- Kommunikation zur strukturierten Datensammlung durch Datenharmonisierung

3.2 Immobiliendaten für alle Lebenszyklen

Die Lebenszyklusbetrachtungen im Immobilienumfeld wird von immer höherer Bedeutung.

Neben der Übernahme von Immobilien bei Schlüsselübergabe nach der Bauphase, wollen nicht nur Investoren, sondern auch spätere Nutzer frühzeitig und umfassend mit Informationen zur Immobilie informiert werden.

Dabei werden die Informationen im Sinne von Immobiliendaten ebenfalls von immer höherem Belang. Dokumente wie Lagepläne, Grundrisspläne, Mietverträge und Baurechtsunterlagen gehören zum Standard, aber auch Beschreibungen der technischen Anlagen, Instandhaltungsdokumentationen, Baurechtliche Dokumentationen, Raumbücher und ggf. Vertragsdokumentationen mit den Dienstleistern, die sich in der Nutzungsphase um die Tätigkeiten des Gebäudemanagement bemühen, werden zur Verfügung gestellt werden müssen, um Bau-/ Investitionsprojekte positiv abzuschliessen.

3.3 FM gerechte Datenbeispiele

Am Beispiel einiger Objekte, die jeder Mensch täglich nutzt, erkennen sie sehr übersichtlich und bekommen einen objektiven Eindruck zur Datenharmonisierung. Dargestellt sind die Tätigkeiten aus dem GM mit den dafür erforderlichen Daten:

3.3.1 Die « Tür »

Umzugsmanagement	- Öffnungswinkel
Instandhaltung	- Letzte Wartung Türschließer
Brandschutz	- Brandschutzklasse
Reinigungsmanagement	- Glasfläche, Oberfläche



3.3.2 Der « Raum » (er ist der Wichtigste aller Informationen !!)

Flächenmanagement	- Mietfläche (GIF), Nutzfläche (DIN 277)
Reinigungsmanagement	- Reinigungsfläche, Bodenbelag
Belegung, Reservierung	- Raumgröße, Ausstattung (Inventar)
Instandhaltung	- Wandflächen

3.3.3 Der « Feuerlöscher »

Umzugsmanagement	- Zugänglichkeit Flure
Instandhaltung	- Letzte Wartung
Brandschutz	- Lage / Standort / Typ
Reinigung	- Berücksichtigung Oberarbeiten



Jeder dieser Datensätze sollte frühzeitig durch folgende Software Komponenten « harmonisiert » werden :

- CAD
- Planmanagement
- CAFM

Im Einzelnen werden diese grundlegenden eigenständigen Systeme näher erläutert, um am Ende dieses Artikels die Forderung zur Entwicklung eines « Projekt- raums Immobilie» zu verstehen.

4 Datendokumentation in der CAD

CAD (z.B. AutoCAD Architecture) bietet die beste Produktivität bei der architekto- nischen Dokumentation. Sie arbeiten mit bauspezifischen Spezialwerkzeugen für die Entwurfserstellung Architektur.

AutoCAD Architecture stellt eine CAD Lösung für eine präzise Zeichnungs-, Bau- teillisten- und Dokumentationserstellung dar. Sie arbeiten mit bauspezifischen Spezialwerkzeugen für die Entwurfserstellung Architektur. Die Lösung unterstützt den flexiblen Austausch und die gemeinsame Nutzung von Dateien im DWG.- Format mit allen Projektbeteiligten.

Sie verwenden intelligente Architekturobjekte wie Wände, Fenster und Türen, de- ren Objektverhalten ihren tatsächlichen Eigenschaften entspricht.

Bauteillisten

Aus allen in die Zeichnung eingefügte Bauteile / Objekte können in Form von Bauteillisten wie z.B. Türliste, Fensterliste, Flächenliste generiert werden. Dank der direkten Verknüpfung zwischen den Bauteillisten mit der Zeichnung können diese bei Entwurfsänderungen automatisch aktualisiert werden.

Räume

Mit AutoCAD Architecture lassen sich alle Räume in einer Zeichnung automatisch mit einer Beschriftung versehen. Auch die Abstände von Umgrenzungen lassen sich auf der Grundlage von vor- oder benutzerdefinierten Regeln in den Raumdefinitionen festlegen und ermöglichen so Flächenberechnungen auf der Basis diverser Branchenstandards (DIN...).

Projektnavigator

Beim Erstellen eines neuen Projektes wird automatisch eine Projektumgebung angelegt, in der die einzelnen Dateien in einem Projekt zusammengefasst werden.

Die Projektdatei liegt dabei in der obersten Ebene der Projektstruktur. Sie enthält den Namen und die Nummer des Projektes, Informationen zu Ebene und Bauabschnitt, sowie Einstellungen für Zeichnungsvorlagen, Projektdetails, -standards, -paletten und das Verknüpfungsverfahren für externe Referenzen.

Die Kategorien innerhalb des Projektes werden in Form von Ordnern dargestellt.

Ein neues Projekt/ Immobilie wird mit folgender Kategoriestructur angelegt:

- Gebäudemodule
- Elemente
- Ansichten
- Pläne

Im Projektnavigator werden Plotlayouts in Plansätzen zusammengefasst. In den Plansätzen werden Publizierungseinstellungen festgelegt, die mehrere Plotlayouts gemeinsam sind.

Bei Erstellung eines neuen Projektes wird ein eindeutiger Projektplansatz erstellt. Dieser wird unter der Projektkategorie „Pläne“ angezeigt.

Ein Projekt/ eine Immobilie kann als „Paket“ zusammengefasst werden und entsprechend elektronisch übertragen werden. Das elektronische „Paket“ kann folgendes enthalten:

- Alle Projektzeichnungen, einschl. Referenzen der Immobilie
- Alle XML Dateien des Projektes
- Die Projektdatei
- Alle Projektvorlagen
- Die Projektplansatzdatei
- AutoCAD Schriftzuordnungsdatei
- AutoCAD Plotstiltabellen

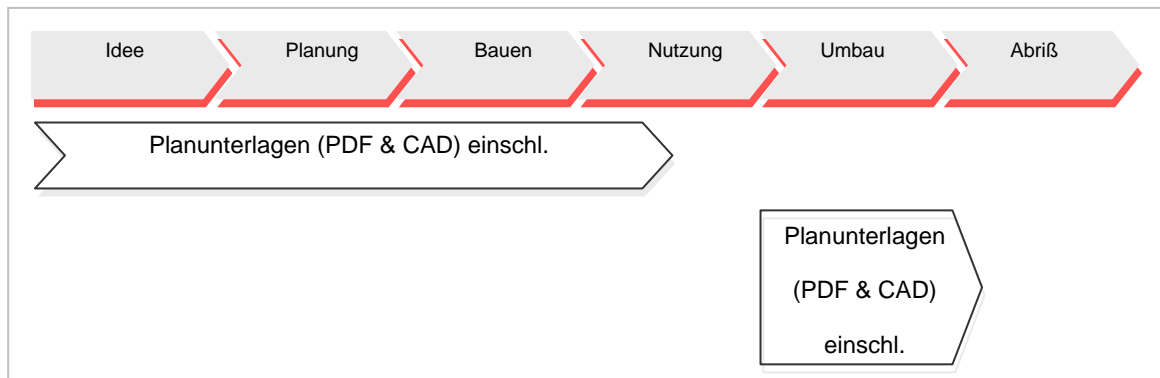


Abb. 1.7: Gebäude- Lebenszyklusphasen mit CAD , Quelle: Danz FM

Warum also nicht FM Daten bereits in der Entwurfsphase in der CAD entsprechend dokumentieren und strukturieren, sowie anschließend in zusammengefasster Form übergeben?

5 Planmanagement

5.1 Einführung in das Planmanagement

Das Planmanagement stellt einen Verwaltungsvorgang dar, der die strukturierte Ablage sämtlicher für ein Bauvorhaben erstellter Zeichnungsunterlagen sicherstellt, die Verteilung an die Projektbeteiligten organisiert und den gesamten Planaustausch hinsichtlich der zeitlichen Abfolge und ihrer Versionierung dokumentiert.

Das digitale Planmanagement ist die Client-Server basierte Umsetzung auf Basis digital vorliegender Baupläne und sonstiger Planungsdokumente. Es nutzt das In-

ternet als Transportmedium für die Verteilung von Zeichnungsinformationen. Durch die intelligente Ablage und Verknüpfungen von Daten können neben den Plotlayouts auch die bearbeitbaren Datengrundlagen bereitgehalten und ausgetauscht werden.

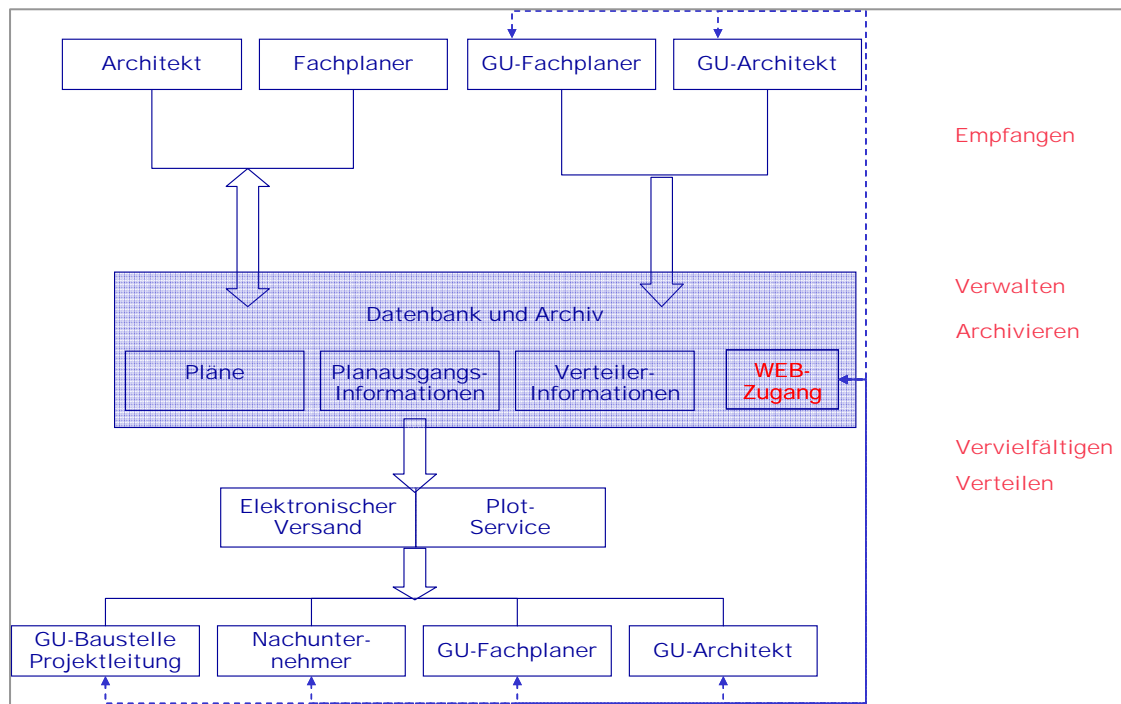


Abb. 1.8: Planmanagement, Quelle: planConnect

5.2 Ziel eines digitalen Planmanagements

- Zugangsberechtigte Projektteilnehmer können zeit- und ortsunabhängig auf die Projektunterlagen zugreifen, kommunizieren, dokumentieren.
- Andere Projektbeteiligte erhalten zielgerichtet Planlieferungen oder Dateien direkt auf ihren Schreibtisch.
- Übersicht über den gesamten Planbestand und Darstellung verschiedener Sichtweisen auf den Planbestand durch datenbankgestützte Verwaltung von Dokumenten für alle Arten von Projekten der Bauindustrie
- Steuerung und Koordination des Planungsablaufes durch Terminverfolgung und lückenlose Dokumentation über die gesamte Projektlaufzeit hinweg, mit dem Ziel Veränderungen und Abweichungen durch die Kombination von Mensch und Maschine frühzeitig zu erkennen
- Reduzierung von Vervielfältigungs- und Versandkosten durch digitale Speicherung, sowie zielgerichtete Verteilung und schnellere Informationsausgabe auf Papierunterlagen

- Reduzierung von Baukosten durch die Unterstützung eines strukturierten Projektmanagements
- Aufbau eines Langzeitarchivs als hochwertige Dokumentation von Planung und Ablauf eines Bauvorhabens, als Basis für das Facility Management

5.3 Herangehensweise technische Basis für das Planmanagement

5.3.1 Nachrichten bezogen

Im Zentrum der Betrachtung steht die Kommunikation der Projektbeteiligten. Die technische Basis ist ein angepasstes E-Mail-Server-System, welches den internetbasierten elektronischen Austausch von Informationen sicherstellt und diese archiviert. An Nachrichten können Anlagen angefügt werden, z.B. Baupläne.

Der Vorteil liegt in der schnellen Einsatzfähigkeit und hohen Flexibilität für den Einzelnen, da auch ohne die Einführung projektübergreifender Konventionen ein Informationsaustausch erfolgen kann.

Nachteilig wirkt, dass die Ablage unter dem Nachrichtenbezug erfolgt. Dokumentenbezogene Auswertungen sind nicht oder nur über die Einführung von Regeln (z.B. definierte Plannummerierung) möglich. Bezüge wie unter 4.1 „Projektnavigator“ beschrieben sind dabei kaum abbildbar.

5.3.2 Dokumenten bezogen

Im Zentrum der Betrachtung steht das Dokument, welches zentral abgelegt wird. Die technische Basis sind Dokumentenmanagementsysteme. Die Dokumente werden über Web-Server per Internet den Projektbeteiligten zugänglich gemacht. Bei der Projektkommunikation werden Dokumente ausgetauscht, zu denen verbale Zusatzinformationen im Sinne von Leittexten mit übergeben werden können.

Der aufwendige Umgang mit Leittexten und anderen Informationen, die sich auf mehrere Unterlagen beziehen, ist als nachteilig gegenüber vorgenannter Herangehensweise zu nennen.

Von Vorteil ist vor allem die schnelle Auffindbarkeit des Plandokumentes mit allen seinen relevanten Informationen und Beziehungen, wodurch zum einen leichter dokumentenbezogene Auswertungen (Planlisten, Terminverfolgungen), sowie

planbezogene Workflows realisierbar sind.

5.3.3 Das Papier-Dokument im Mittelpunkt

Auf Grund der Tatsache, dass für den überwiegenden Teil der operativen Tätigkeiten wie z.B. der Wartung oder der Fertigung bzw. Herstellung eines Bauwerkes, der Papierplan verwendet wird, sind sämtliche Abläufe und Dokumentationen eines Planmanagements auf das Layout, also den Papierplan ausgerichtet. Das „Papier“ definiert sich als die primitivste aber durchgängigste Schnittstelle für den Austausch von Immobilieninformationen über den gesamten Lebenszyklus. Qualitativ höherwertigere Informationsübergaben, z.B. über CAD Daten, werden in den meisten Planmanagementsystemen heutzutage eher am Rande mitgeführt.

5.4 Spannungsfeld der Planverwaltung

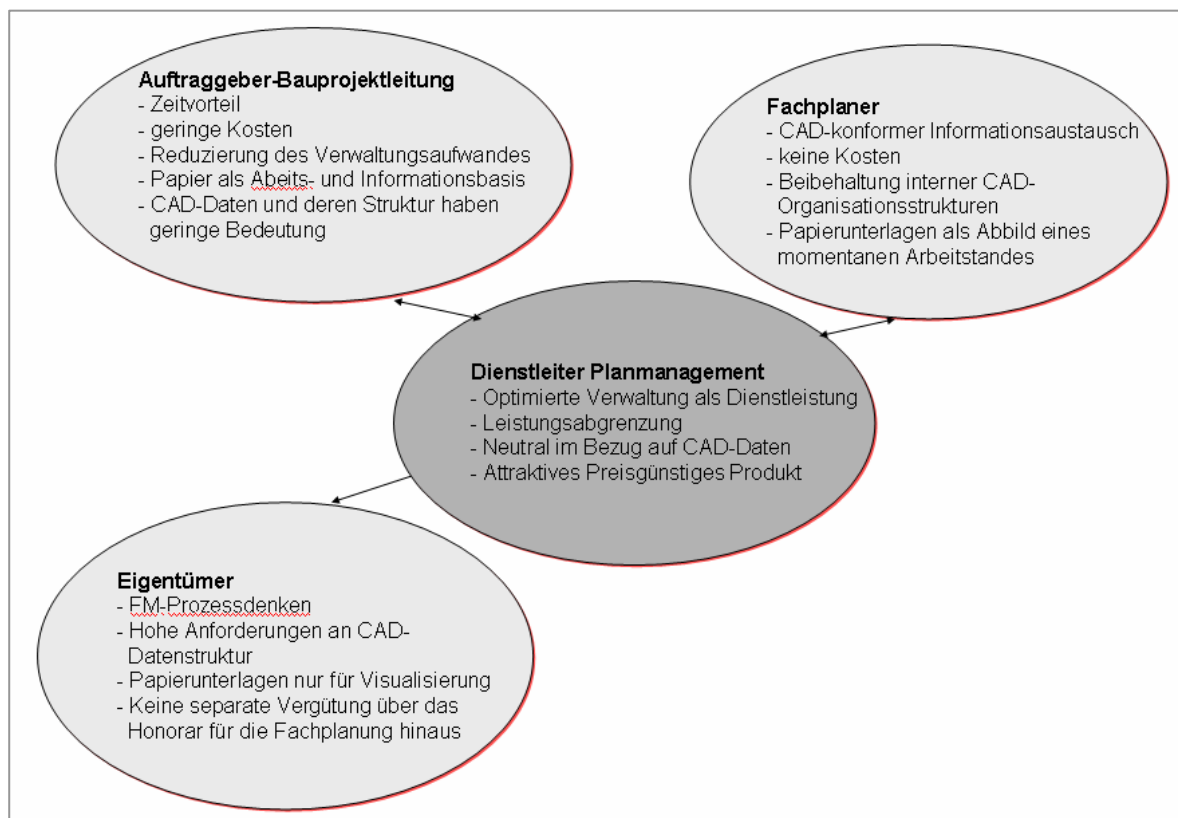


Abb. 1.9: Anwender Planmanagement, Quelle: planConnect

Warum also nicht die Daten bereits im Planungsprozess über das Planmanagement verwalten, verteilen und FM gerecht dokumentieren?

6 Computer Aided Facility Management (CAFM)

6.1 Einführung und Nutzen

CAFM steht für Computer Aided Facility Management. Darunter gelten Software Werkzeuge, welche die spezifischen Prozesse des FM und die daran direkt oder indirekt (z.B. als Informationsnachfrager) beteiligten Personen unterstützen.

GEFMA Richtlinie 400, Bonn, 2002-04

Auf Grund der Komplexität der Prozesse und Basisinformationen ist Facility Management ohne Computerunterstützung nicht realisierbar. Der Grad der Implementierung eines konkreten, individuellen CAFM Systems entscheidet mit über mögliche Effizienzsteigerungen in den einzelnen FM- Prozessen und sollte hinsichtlich der Lebenszyklen frühzeitig erfolgen. Nutzenpotentiale stellen sich wie folgt da:

- effiziente, d.h. aufwandsarme, schnelle und fehlerfreie Abwicklung von Arbeitsabläufen, wie z.B. Flächennutzungsplanungen, Umzugsplanungen, Betriebs- bzw. Nebenkostenabrechnungen usw.
- Abwicklung der unterstützten FM-Prozesse unter definierten und somit
- beherrschten Bedingungen im Sinne eines Qualitätsmanagements
- Datenharmonisierung, d.h. Bereitstellung von verdichteten Informationen (Auswertungen) als Entscheidungsgrundlage für das Management
- Kostentransparenz inkl. dem Aufzeigen von Möglichkeiten der Kosteneinsparung
- hoher Nutzungsgrad der Anlagen im Sinne einer effizienten Auslastung
- hohe Verfügbarkeit und Werterhaltung der baulichen und technischen Anlagen durch planmäßige Instandhaltung bei überschaubarer Verwendung der Mittel
- Wertsteigerung der Bausubstanz durch gezielte Modernisierung

Dieser Nutzen ist in jedem Fall individuell zu ermitteln. Er ist abhängig von

- der Größe und Komplexität der Facilities
- dem Zustand

- der Nutzerstruktur
- dem jeweiligen Betreiberkonzept

6.2 Anwendung eines CAFM / Gebäudeinformationssystem

Das CAFM System G-Info ist ein vielfältiges Gebäudeinformationssystem mit perfekten Integrationsmöglichkeiten in das Autodesk Portfolio (AutoCAD) in Form von Anbindungen der entsprechenden CAD Zeichnungen (DWG Format) zur Auswertung und Verwaltung der dokumentierten Inhalte. Flächeninformationen können beispielsweise bidirektional in der Zeichnung oder im G-Info gepflegt werden.

G-Info kann schnell und einfach durch den Anwender an die individuellen Bedürfnisse angepasst werden.

G- Info und CAD

Durch die direkte CAD Anbindung besteht die Möglichkeit Zeichnungsobjekte wie Wände, Fenster, Türen, Räume, Blöcke automatisiert aus einer Autodesk basierenden Zeichnung auszulesen und die Daten in G-Info zu übernehmen und auszuwerten.

G-Info Auswertungen, Reports und Berichte

Alle G-Info Daten können in den verschiedensten Formen ausgewertet werden. Sie haben die Möglichkeit verschiedene Auswertekriterien zu definieren und diese thematisch innerhalb der CAD Zeichnung abzubilden.

In G-Info sind des Weiteren umfassende Filterfunktionen integriert.

Im Alphanumerischen Format können unterschiedlichste Reports erstellt werden. Ein Reportdesigner steht als Werkzeug zur individuellen Gestaltung der Ausgabe zur Verfügung.

Warum also nicht die Daten bereits im Planungsprozess frühzeitig in ein CAFM System zur Datenharmonisierung und FM–Simulation integrieren?

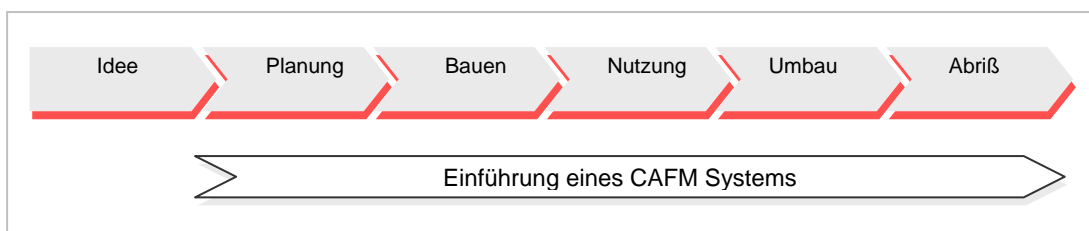


Abb. 1.10: Gebäude- Lebenszyklusphasen mit CAFM , Quelle: Danz FM

7 Harmonisierung von Immobiliendaten in einem "Projekt-raum Immobilie" für FM-Simulation

7.1 Ausblick

Eine internetbasierte Kopplung von CAD Planunterlagen in einem Planmanagement mit Auswertung durch ein CAFM System, könnte über alle Phasen der FM-Lebenszyklen die Daten zur Verfügung stellen. Dazu die folgende schematische Übersicht:

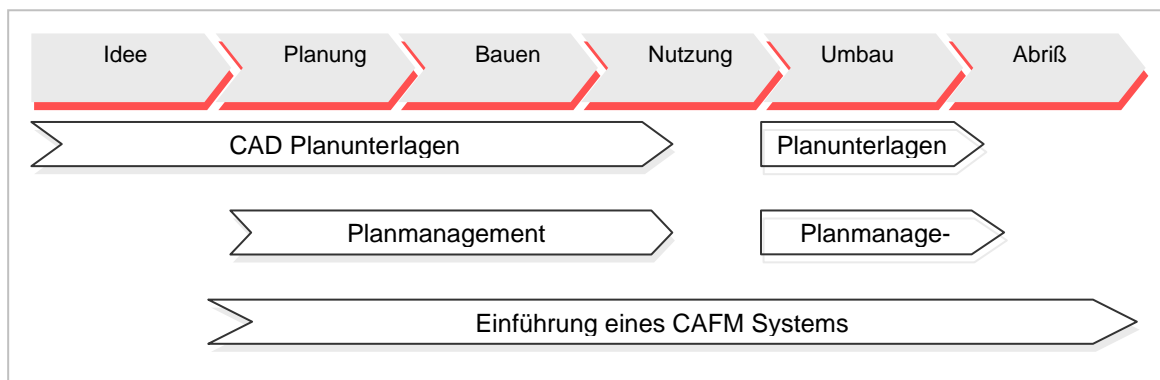


Abb. 1.11: Gebäude- Lebenszyklusphasen mit CAD, Datenmanagement und CAFM ,
Quelle: Danz FM

Alle Baubeteiligten, Bauherr, Architekten, Fachplaner, Investoren, Mieter, Nutzer usw. hätten Zugriff auf die jeweils für sie relevanten Daten und könnten diese bereitstellen, tauschen, verwalten und nutzen. Ein « Projektraum Immobilie » als zentraler Kern in dem die Daten, nach einer vorher festgelegten Struktur bereits in der Planungsphase abgelegt werden.

Nach Fertigstellung der Immobilie ergäbe sich daraus für den Bauherren eine vollständige Baudokumentation die bereits frühzeitige FM gerechte Simulationen hinsichtlich der GM- Tätigkeiten (Nutzungsphase) ermöglicht.

Bei derzeit in Projekten genutzte Projekträume werden diese meist nur bis zur Gebäudeherstellung genutzt, d.h. nach der Bauphase hat er in der Regel seine Schuldigkeit getan. Eine Weiterverwendung in der Nutzungsphase mit einem CAFM System findet meist nicht statt.

Wir sind jedoch der Meinung, dass das Potenzial eines « Projektraums Immobilie » für die Gebäudenutzung erkannt werden muss. Denn genauso gut wie Baupläne und CAD-Zeichnungen lassen sich in ihm auch Daten aus der Betriebsphase, wie

Mietverträge, Wartungsverträge, technische Dokumentationen etc. verwalten und dem Gebäudemanagement zur Verfügung stellen. Der « Projektraum Immobilie » kann dem Eigentümer somit als zentrales Datenarchiv für seinen Immobilienstand dienen.

Wenn man nun hergehen könnte und die bereits am Markt etablierten Systeme in die FM Lebenszyklen einbinden würde, so dass diese nicht nur wie unten dargestellt (siehe Abb.1.12) als jeweils einzelne Software Komponente eine jeweilige Prozess- Phase unterstützt, sondern als « Projektraum Immobilie » über alle Phasen hinweg (siehe Abb.1.13) im Sinne des FM Gedanken einsetzen (harmonisieren) würde, wären Optimierungen von bisher noch unbekannten Ausmaßen möglich.

Ist Situation bei Immobiliendaten:

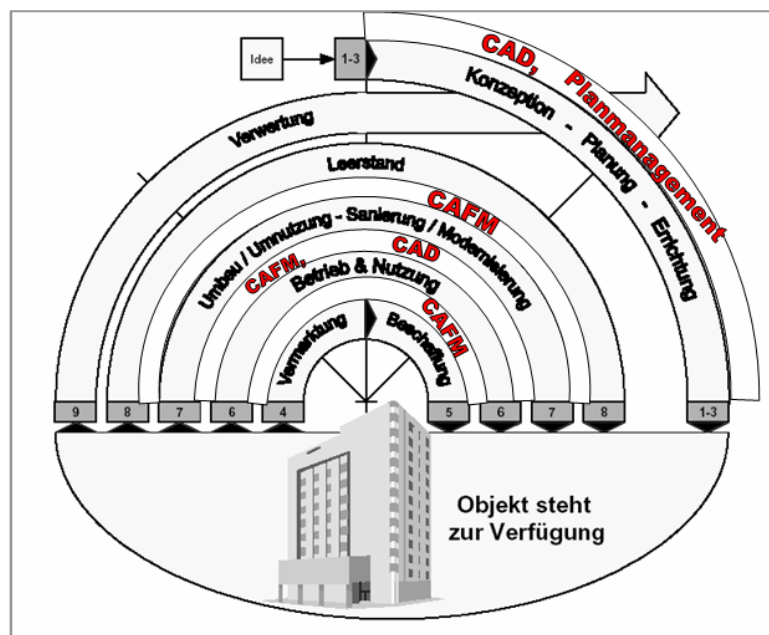


Abb. 1.12: Gebäude- Lebenszyklusphasen mit CAD, Datenmanagement und CAFM ,
Quelle: Danz FM in Anlehnung an GEFMA

Soll Situation bei Immobiliendaten:

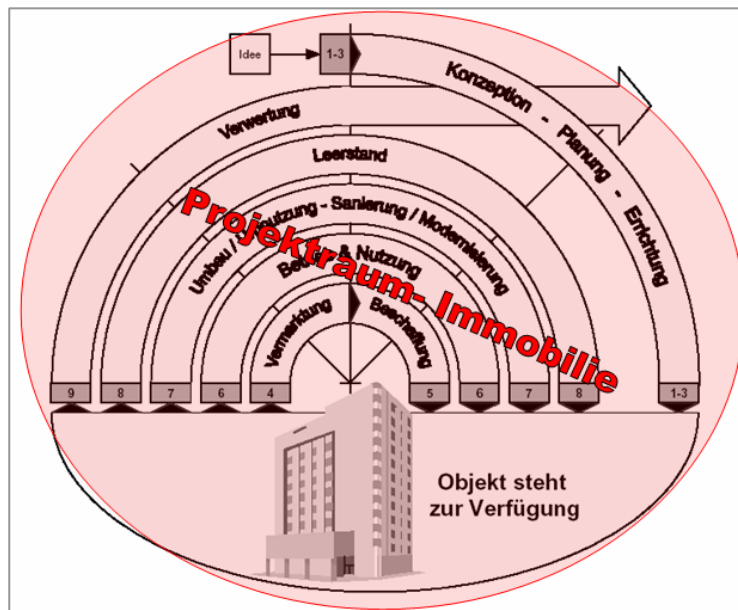


Abb. 1.13: Gebäude- Lebenszyklusphasen mit Projektraum Immobilie, Quelle: Danz FM in Anlehnung an GEFMA

Anhand dem nachfolgendem « Verbindungen » können Sie einen ersten Eindruck von unseren Gedanken hinsichtlich der Datenwege durch integrierte Verknüpfung der Software Komponenten erkennen:

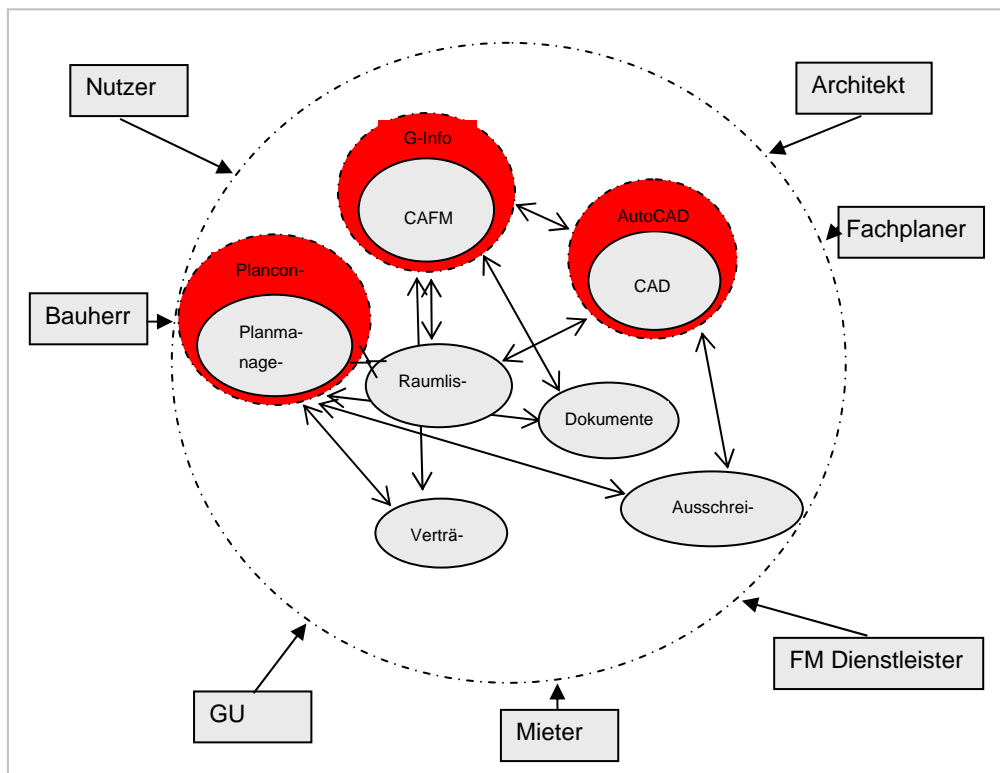


Abb. 1.14: Datenlauf im Projektraum Immobilie, Quelle: Danz FM

7.2 Fazit

Uns ist es wichtig klar darzustellen, dass nicht eine weitere Software sondern bereits am Markt etablierte Systeme zu einander finden und vom Anwender intuitiv genutzt werden sollen, um den Facility Management Gedanken noch weiter in unserem täglichen Handeln zu integrieren.

Dabei ist es wichtig auch die früheren Lebenszyklusphasen einer Immobilie von verschiedenen Gesichtspunkten her, betrachten zu können.

Es ist sicherzustellen, dass bereits bei Konzeption und Planung (z.B. bei Umbauten, Umnutzungen) Erfahrungen aus der bisherigen Betriebs- und Nutzungsphase hinreichend berücksichtigt werden. Erinnern Sie sich an das o. g. Datenbeispiel „Tür“. Wäre es nicht von Vorteil bereits in der Planungsphase zu erkennen, welches Türmodell alle späteren an Sie gestellten Anforderungen erbringen wird und dabei auch noch alle entstehenden Kosten berücksichtigt werden könnten?

Auch für die Lebenszyklusphase „Vermarktung“ / „Beschaffung“ stellt sich « Projektraum Immobilie » als ein Arbeitsmittel dar, mit dem sich ein Verkaufs- bzw. Beschaffungsprozess beschleunigen lässt. Kaufinteressenten erhalten dann für eine erste Sichtung über ein Passwort Zugang zu ausgewählten Daten im Projektraum.

Der « Projektraum Immobilie » würde auch bei Vergaben von Gebäudedienstleistungsverträgen mehr Transparenz erlauben.

Datensimulation im Planungsprozess würden Entscheidungen für die nachfolgenden Lebenszyklen maßgeblich beeinflussen und z.B. Kauf- oder Mietinteresse auf Grundlage der Nutzungsflächen möglich machen um die späteren Kosten bereits in diesem Status simulieren zu können.

Der Einsatz eines « Projektraum Immobilie » bietet abschliessend drei wesentliche Vorteile:

- die Zeitersparnis
- die eindeutige Datengrundlage
- die Entscheidungssicherheit

Auf Grund dieser Sachlage ergibt sich für uns die Forderung und Entwicklung ei-

ner Lösung zur:

Harmonisierung von Immobiliendaten in einem „Projektraum Immobilie“ für FM- Simulationen!

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

**Prozessoptimierte vernetzt-kooperative
Ingenieurplanung**

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Technische Universität Darmstadt

Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen

Petersenstraße 13, 64287 Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	151
1	Einführung.....	151
2	Prozessoptimierte vernetzte Kooperation	152
3	Petri-Netze	155
4	Agententechnologie	156
5	Anwendungsbeispiel: Prozessoptimierte vernetzt-kooperative Brandschutzplanung	158
6	Zusammenfassung.....	160
	Literatur	160

Kurzfassung

Die Planungsprozesse im Bauwesen sind gekennzeichnet durch ein sehr hohes Maß an arbeitsteiliger Kooperation einer Vielzahl heterogener Fachplaner an unterschiedlichen Standorten, die oftmals verschiedenen selbständigen Organisationen angehören. Auftraggeber und Prüfinstanzen erwarten erstens Planungsprodukte von hoher Qualität, die ihre Anforderungen erfüllen, und zweitens eine optimale Vorbereitung des Herstellungsprozesses. In der Baupraxis sind Beispiele für Mängel zu finden, die auf unzureichende Kooperation der beteiligten Fachplaner zurückzuführen sind. Diese können Kosten und Termine nachhaltig beeinflussen. Um derartige Fehler auszuschalten, ist eine bessere Überwachung und Steuerung der Planungsprozesse erforderlich. Dies bedingt die Erforschung von Methoden und Modellen, die die Prozesse der Ingenieurplanung computergerecht abbilden und die bauspezifische Kooperation unterstützen. Vor diesem Hintergrund zeigt der Beitrag aktuelle Forschungsinhalte der Bauinformatik auf, die insbesondere im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1103 „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“ von verschiedenen Projekten arbeitsteilig entwickelt wurden. Es wird ein integratives Prozessmodell vorgestellt, das die Grundlage für die Unterstützung der vernetzt-kooperativen Planung mit modernen Methoden der Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnik zusammenführt. An einem Beispiel aus dem baulichen Brandschutz werden die methodischen Ansätze der Prozessmodellierung mit Petri-Netzen und mobilen Softwareagenten zur Unterstützung der Kooperation in der Fachplanung des Bauwesens dargestellt und erläutert.

1 Einführung

In der Ingenieurplanung im Bauwesen sind die Bearbeitungsprozesse in hohem Maße arbeitsteilig organisiert. Geplant und hergestellt werden überwiegend individuell gestaltete Bauwerke, die als Unikate von Grund auf neu entworfen und gestaltet werden. Die Organisation für spezielle Projekte besteht meistens aus vielen selbständigen Planungspartnern, die örtlich verteilt spezifische Planungsaufgaben bearbeiten. Daraus resultieren für das Management der Projekte sehr komplexe

und aufwendige Abstimmungsprozesse, um die Konsistenz der Planung und die Qualität des Herstellungsproduktes abzusichern. Die ökonomischen Bedingungen der globalisierten Wirtschaft verschärfen die dabei herrschende Wettbewerbssituation. Hinzu kommen flexible Anforderungen an die Auslegung und Nutzung der Gebäude, die sich in der Gestaltung und der technischen Ausstattung niederschlagen. Bereits in frühen Planungsphasen sind niedrige Betriebskosten und ressourcenschonende Bauverfahren wichtige Zielfunktionen. Diese Rahmenbedingungen erfordern die Evolution traditioneller Prozessstrukturen und Kooperationsformen unter Einsatz leistungsfähiger Software-Methoden und angepasster Hardware-Ressourcen.

Aus der globalen Verfügbarkeit von leistungsstarken Computernetzen und mobilen Endgeräten ergeben sich für die Neugestaltung der Kooperation in der Planung viel versprechende neue Möglichkeiten zur besseren Vernetzung der Planungspartner und zur effektiven Koordination der Arbeitsabläufe im Bauwesen. Um dafür die ingenieurmäßigen und informationstechnischen Grundlagen zu erforschen, förderte die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) von 2000 - 2006 das Schwerpunktprogramm 1103 „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“ (Rüppel 2007) mit 15 Forschungsprojekten im Umfang von ca. 7,5 Mio. €. Aktuell wird ein zugehöriger Transferbereich mit 9 Projekten durchgeführt. Im Folgenden sollen ausgewählte Ziele und Ansätze des Schwerpunktprogramms anhand eigener Forschungskonzeptionen erläutert und mit einem ausgewählten Anwendungsbeispiel aus der Baupraxis veranschaulicht werden.

2 Prozessoptimierte vernetzte Kooperation

Als vernetzt-kooperative Ingenieurplanung wird das arbeitsteilige Zusammenwirken der Fachplaner über Computernetze zur zielgerichteten Erfüllung der Planungsaufgaben bezeichnet (Rüppel 2007). Die beteiligten Fachplaner verfügen dabei über spezialisierte Kompetenzen. Diesbezüglich sind die einzelnen Planungsaktivitäten auf Informationen der anderen Planungsbeteiligten angewiesen. Da die Dauer bei Bauprojekten begrenzt ist, muss die Aufgabe arbeitsteilig und teilweise gleichzeitig in Kooperation durchgeführt werden. Allgemein wird Koope-

ration als die Zusammenarbeit mehrerer Gruppen, Personen und Organisationen in einem Team an einem gemeinsamen Material und auf ein gemeinsames Ziel hin bezeichnet (Bretschneider 1998). In der Ingenieurplanung werden von der heterogenen Bauprojektorganisation gemeinsam Dokumente, Pläne und Modelle mit dem Ziel erstellt, ein virtuelles Bauwerk im Sinne von Handlungsanweisungen für das real zu erstellende Gebäude zu entwickeln. Die beteiligten Personen werden dabei als Akteure bezeichnet. Die Typisierung eines Akteurs im Hinblick auf die für die Aufgabenerledigung erforderlichen Eigenschaften, wie z. B. Wissen, Rechte, Pflichten und Fähigkeiten, wird als Rolle bezeichnet. Dadurch können in der Ingenieurplanung erforderliche Rollen unabhängig von den tatsächlich beteiligten Personen und Organisationen spezifiziert werden.

Die Kooperation kann implizit durch die Arbeit am gemeinsamen Material oder explizit durch den bewussten Austausch von Informationen im Sinne einer Konversation erfolgen. Die Kooperation kann einerseits hinsichtlich des Ortes klassifiziert werden: Sie wird als zentral bezeichnet, wenn alle Beteiligten am selben Ort arbeiten und als verteilt, wenn die Beteiligten an verschiedenen Orten agieren. Andererseits kann eine Klassifikation hinsichtlich der Zeit erfolgen: Die Kooperation wird als synchron bezeichnet, wenn die Planungsaktivitäten gleichzeitig zusammen in genau einem Bereich des gemeinsamen Materials erfolgen. Dies wird auch als wechselseitige Kooperation bezeichnet. Diese Art der Kooperation erfolgt meistens bei Planungskonflikten. Als synchrone Kooperation wird auch das parallele Arbeiten, d. h. die gleichzeitige Bearbeitung verschiedener Teile des gemeinsamen Materials, bezeichnet. Hierzu ist eine vorherige Aufteilung des gemeinsamen Materials in einzelne, voneinander unabhängig zu bearbeitende Arbeitsbereiche erforderlich. Die Kooperation wird als asynchron bezeichnet, wenn die Bearbeitung der zugewiesenen Teilaufgaben nacheinander im Sinne eines sequentiellen Arbeitsflusses zu unterschiedlichen Zeiten erfolgt.

Für die Kooperation ist eine Kommunikation zwischen den Planungsbeteiligten erforderlich. Als Kommunikation wird der reine Austausch von Informationen zwischen den Planungspartnern zum Zwecke der Verständigung bezeichnet (Klingenberg/Kränzle 1983). Die Kommunikationsform beschreibt das Darstellungsmittel, mit dessen Hilfe Informationen ausgedrückt werden, wie z. B. verbal (Text, Grafik etc.) und symbolisch (Gestik, Mimik etc.). Als Kommunikationsmittel wird

das Medium zur Überwindung der räumlichen und/oder zeitlichen Distanz bezeichnet. Grundsätzlich ist zu beachten, dass Kommunikation für die Kooperation eine notwendige Voraussetzung ist (Piepenburg 1991).

Die Planungstätigkeiten auf dem gemeinsamen Material in der Ingenieurkooperation stehen oftmals in Konkurrenz, d. h. die individuellen Ziele der Beteiligten stehen im Konflikt zueinander. Für die Lösung dieser Planungskonflikte ist eine Koordination erforderlich. Die Koordination besteht aus der Abstimmung konkurrierender Planungstätigkeiten mit dem gemeinsamen Material und der Verwaltung der Abhängigkeiten zwischen den aufgabenbezogenen Tätigkeiten.

In der Ingenieurplanung werden Software-gestützte Koordinationsmechanismen unterschiedlicher Automatisierung und Granularität in Bezug auf die Planungszustände, die Planungsaktivitäten und den Fluss der Planungsinformationen benötigt. Daher ist es das Ziel der aktuellen Forschung der Bauinformatik, eine grundlegende Strukturierungssystematik für die vernetzt-kooperativen Bauplanungsprozesse zu finden, diese mit mathematischen Methoden abzubilden und geeignete Software-Methoden und -Werkzeuge zur Darstellung, Simulation und Verwaltung der Planungsprozesse zu entwickeln. Grundlage hierfür ist die Verfügbarkeit eines holistischen Prozessmodells, das die maßgeblichen Prozesselemente konsistent integriert. Das integrative Prozessmodell für Ingenieurplanungen ist in (Bild 2.1) dargestellt.

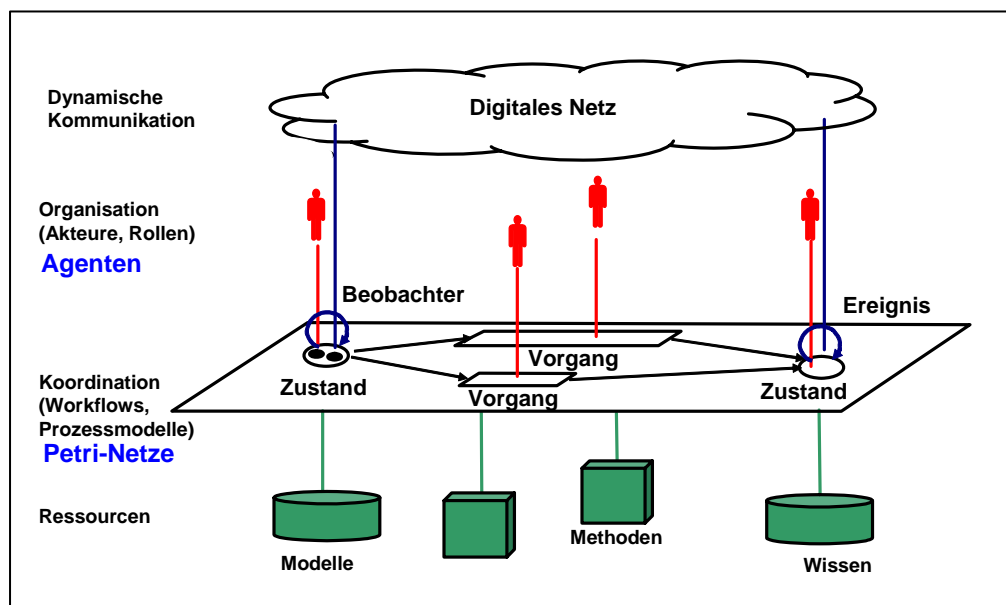


Bild 2.1: Integratives Prozessmodell (Rüppel 2007)

Die *Ressourcen-Ebene* umfasst die Modelle, das Wissen und die Verarbeitungsmethoden, die zur Ausführung der Planungsvorgänge benötigt werden. Die *Koordinationsebene* dient zur Modellierung und Ablaufsteuerung der Arbeitsvorgänge und des Informationsflusses. In der *Organisationsebene* werden die beteiligten Fachplaner bzw. deren Repräsentation abgebildet, soweit sie die Hoheit über die Zustände des Prozessmodells innehaben und bei den Arbeitsvorgängen des Prozessmodells mitwirken. Mithilfe wohl definierter Rollen werden in dieser Ebene die Rechte und Fähigkeiten der Fachorganisationen erfasst und mit den Modellen und Verarbeitungsmethoden der Ressourcen-Ebene verknüpft. Über die *Kommunikationsebene* werden die dynamischen moderner Kommunikationsnetze in die Prozessmodellierung einbezogen.

Als prozessoptimierte vernetzt-kooperative Ingenieurplanung wird die fachtechnische Kooperation in Computernetzen bezeichnet, die software-gestützte Koordinationsmechanismen unterschiedlicher Automatisierung und Granularität in Bezug auf die Prozesse und Modelle im Sinne des integrativen Prozessmodells beinhaltet (Rüppel 2007).

3 Petri-Netze

Wesentlicher Bestandteil des integrativen Prozessmodells ist die Methodik zur mathematischen Modellierung der Planungsprozesse, die in Aktivitäten, Zustände und deren Beziehungen strukturiert werden. Unterschiedliche Modellierungsmethoden wie die Petri-Netze (Petri 1962; Baumgarten 1996), die Unified Modeling Language (UML) (OMG 2001), die Netzplan-Technik (Seeling 1996) und auch ereignisorientierte Prozessketten (EPK) (Rump 1999) oder IDEF0 (IDEF0 1993) wurden deshalb vor dem Hintergrund der speziellen Anforderungen des Bauwesens und der Vernetzung der Planungspartner analysiert und bewertet. Diese Bewertung stützt sich auf eine beispielhafte Analyse der Planungsprozesse der Geotechnik (Katzenbach et al. 2002). Den meisten Modellierungsmethoden liegen graphentheoretische Konzepte zu Grunde (Pahl, Damrath 2000), die durch diverse Erweiterungen ergänzt wurden, um im Kontext eines bestimmten Problemfeldes der speziellen Anforderung gerecht zu werden. Für die integrative Prozessmodellierung sind viele Methoden für ingenieurrelevante Einsatzzwecke nicht geeignet

(Rüppel 2007). Petri-Netze hingegen werden aufgrund mathematischer Semantik, basierend auf der bipartiten Graphenstruktur und dem Konzept des dynamischen Markenflusses, als sehr geeignet bewertet, um als Grundlage für die Modellierung der Planungsprozesse des Konstruktiven Ingenieurbaus zu dienen. Eine Ausprägung der Petri-Netze stellt das Stellen/Transitions-Netz (kurz S/T-Netz) dar (Bild 3.1). Weitere Details hierzu und insbesondere die Weiterentwicklung dieser Petri-Netze für bauspezifische Belange ist in (Greb 2006) ausführlich dargestellt.

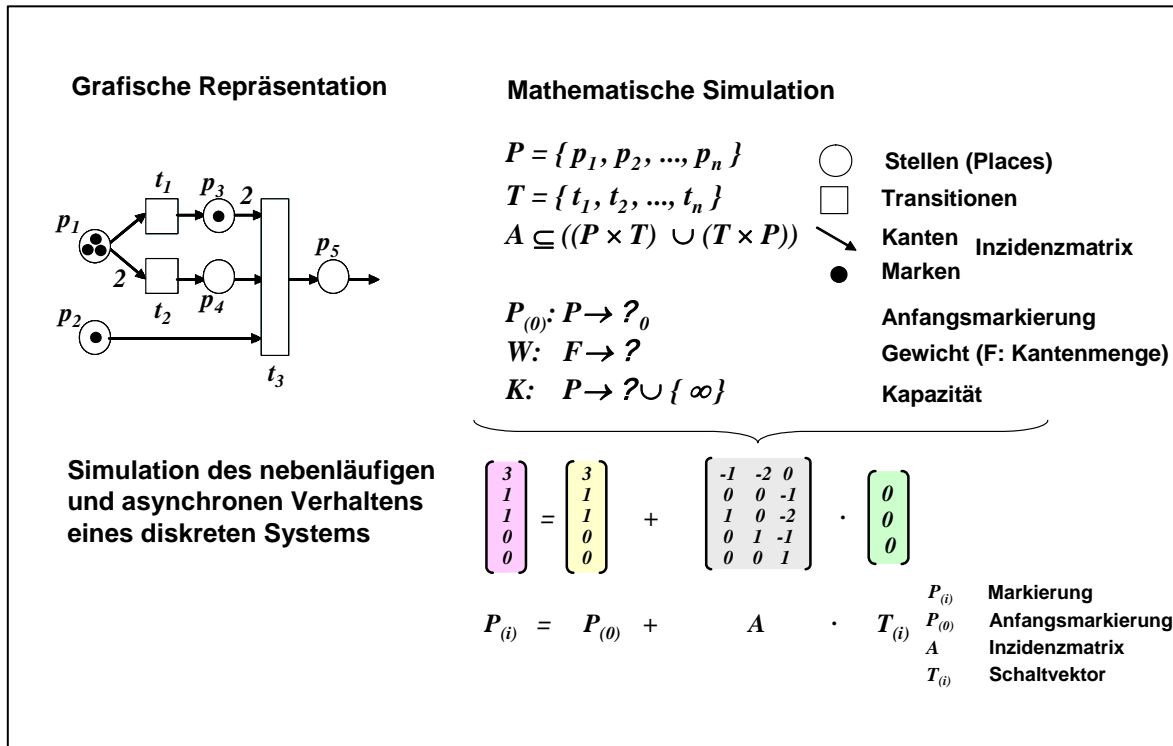


Bild 3.1: Grundlegende Elemente eines Petri-Netzes

4 Agententechnologie

Wooldridge und Jennings (Wooldridge/Jennings 1995) definieren einen Softwareagenten als ein unabhängiges Programm, das in der Lage ist, seine Entscheidungen und sein Handeln - basierend auf der Wahrnehmung seiner Umwelt- bei der Verfolgung von Zielen selbständig zu kontrollieren. Ein anderer Ansatz ist die Definition über die Eigenschaften von Agenten (Ferber 1999). Danach ist ein Agent ein Programm, das alle oder einige der folgenden Eigenschaften besitzt: Agenten sind autonom, d. h. sie sind nicht direkt durch Anweisungen eines Benutzers oder anderer Agenten gesteuert, sondern durch Ziele, die ihnen eigen sind. Zur Verfol-

gung ihrer Ziele besitzen Agenten eine Wissensbasis, die durch ihre vorhandene Lernfähigkeit erweitert wird. Sie besitzen Möglichkeiten zur Kooperation und Kommunikation und können so gemäß ihren Eigenschaften nicht nur reagieren, sondern auch selbständig Aktionen initiieren (Pro-Aktivität). Sinngemäß wird ein Agent als „digitaler Interessensvertreter des Ingenieurs“ gesehen.

Softwaretechnisch lassen sich die verschiedenen Eigenschaften von Agenten basierend auf dem Paradigma objektorientierter Programmiersprachen realisieren.

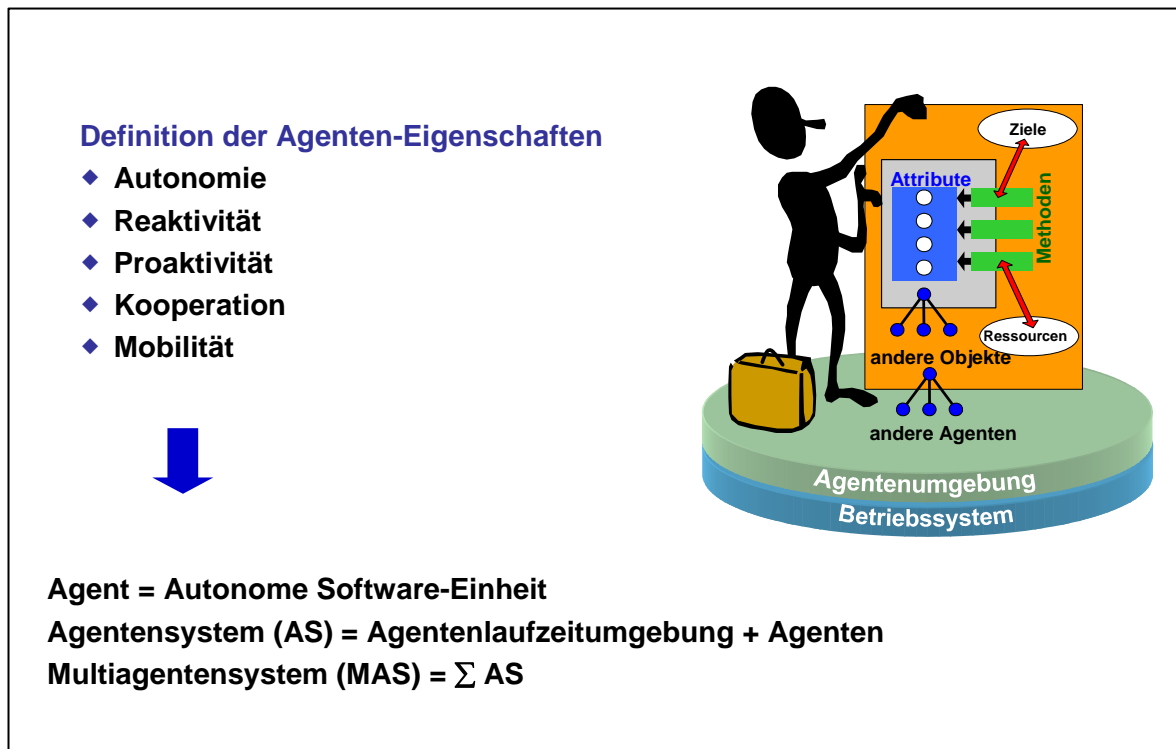


Bild 4.1: Eigenschaften eines (Software-) Agenten

Der wesentliche Unterschied zwischen Objekten auf der einen und Agenten auf der anderen Seite liegt in der Verfolgung von Zielen. Objekte sind durch die Daten (Attribute) und das Verhalten (Methoden) definiert, die für die Umsetzung ihrer Eigenschaften benötigt werden. Das Objekt kapselt den Zustand der Attribute und beinhaltet eine Reihe von Methoden, mit denen der Zustand verändert werden kann. Ein Objekt kommuniziert mit einem anderen über öffentliche Schnittstellen (Nachrichtenaustausch), um Aktionen durchzuführen. Ein Objekt handelt aber im Gegensatz zu einem Agenten nicht aus eigenem Antrieb. Agenten entscheiden aufgrund ihres inneren Zustandes und aufgrund ihrer Umgebung, ob und wie Aktionen ausgeführt werden. Wird ein Agent aufgefordert, eine Aktion auszuführen, so

kann er diese Ausführung aufgrund seines Wissens auch verweigern. Ein Agent kapselt also zusätzlich das Wissen und die Kenntnis von Zielen zu Erfüllung seiner Aufgaben. Die Anwendung der Petri-Netze im Kontext der Agententechnologie ist sowohl etabliert als auch Gegenstand aktueller Forschungen in der Informatik. Es existieren verschiedene Ansätze zur Kombination dieser Methoden, deren Unterschiede in der Modellierung der Eigenschaften eines Agenten begründet sind. In (Xu/Deng 2000) wird zum Beispiel die Modellierung eines mobilen Agentensystemen mithilfe eines Prädikats-/Transitionsnetzes vorgestellt, wobei die einzelnen Agenten durch individuelle Marken im Netz repräsentiert sind. Zur Laufzeit migrieren die Agenten zwischen den Knoten des Netzes, indem die Transitionen geschaltet werden.

5 Anwendungsbeispiel: Prozessoptimierte vernetzt-kooperative Brandschutzplanung

Oberstes Ziel des Brandschutzes ist die Verhinderung von Gebäudebränden und den damit verbundenen Personen- und Sachschäden. Hierbei kann der Brandschutz in zwei zentrale Bereiche, den vorbeugenden und den abwehrenden Brandschutz, eingeteilt werden. Der vorbeugende Brandschutz umfasst alle baulichen, technischen und organisatorischen Brandschutzaspekte. Der abwehrende Brandschutz beschäftigt sich mit der Brandbekämpfung und der Rettung durch die Feuerwehr.

Im Rahmen der Gebäudeplanung werden im Bauwesen die grundlegenden Voraussetzungen für einen effektiven Personenschutz und einen optimalen Löschein-satz gelegt (Schneider, Lebeda 2000). Hierzu ist während der gesamten Planungsphase eines Gebäudes ein hohes Maß an Kooperation zwischen den Planungsbeteiligten und den zuständigen Behörden notwendig. Inkonsistenzen im Informationsfluss zwischen Planungsbeteiligten und unvollständige Modelle spielen eine wichtige Rolle und können zum Teil verheerende Folgen auslösen. Es ist daher notwendig, die Elemente eines Brandschutzkonzeptes in einem Brandschutzmodell zu erfassen und dieses konsequent und konsistent mit den bestehenden Gebäude- und Ausstattungsmodellen zu verknüpfen.

Zur Lösung der zuvor beschriebenen Aspekte wurde auf der Basis der Agenten-

Entwicklungs-Plattform JADE (Bellifemine 2006) das agentenbasierte Planungssystem MADITA (Multiagentsystem for Distributed Fire Engineering Tasks) entworfen (Theiß 2005). Bild 5.1 skizziert das Gesamtsystem.

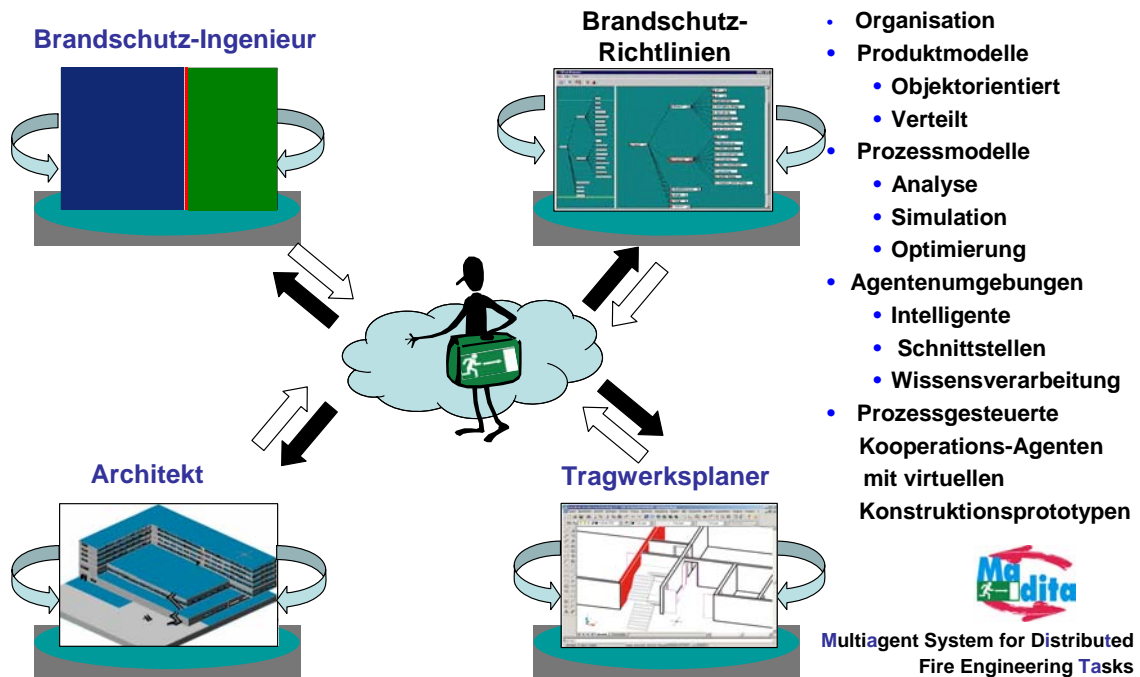


Bild 5.1: Prozessoptimierte vernetzte Kooperation in der Brandschutzplanung (Madita)

Jeder Planer stellt seine Informationen in einem eigenen Fachmodell zur Verfügung, zusätzlich werden die Vorschriften und Regeln der Landesbauordnungen in einem Regelmodell bereitgestellt. Gemeinsam bilden die verteilten Teilproduktmodelle den Modellverbund zur kooperativen Gebäudeplanung. Die kooperative Bearbeitung der Teilproduktmodelle wird durch Softwareagenten ermöglicht. Informationen aus den Teilmodellen werden den berechtigten Fachplanern des Modellverbundes mit Hilfe von Wrapper-Agenten zur Durchführung ihrer Planungen bereitgestellt. Die kooperative Planung auf Basis des Modellverbundes wird am Beispiel der Überprüfung der Planungen hinsichtlich der Anforderungen des baulichen Brandschutzes erprobt. Der hierzu notwendige Informationsaustausch wird durch mobile Informations-Transport-Agenten unterstützt. Diese werden beauftragt, bestimmte Informationen aus den Teilproduktmodellen der kooperierenden

Planer zu ermitteln. Um eine konsistente Brandschutzplanung sicherzustellen, kann jeder Planer einen Brandschutz-Agenten zur Überprüfung seiner Planungsleistungen anfordern. Der Brandschutz-Agent benötigt zur Durchführung der Überprüfungen Informationen aus den Teilproduktmodellen. Diese werden unter Nutzung der Informations-Transport-Agenten und Wrapper-Agenten aus dem Modellverbund beschafft. Die Koordination der Agenten erfolgt auf der Grundlage von Petri-Netz basierenden Prozessmodellen. Nach der Durchführung der Überprüfungen bekommt der Planer das Ergebnis dargestellt und kann, falls erforderlich, seine Planung frühzeitig korrigieren.

6 Zusammenfassung

Die Entwicklung geeigneter Softwaremethoden zur Unterstützung der prozessoptimierten kooperativen Planung in Computernetzen ist eine für die Wettbewerbsfähigkeit des Bauwesens wichtige Aufgabe. Dieser Beitrag zeigt neue Lösungsansätze mit Hilfe der Prozessmodellierung und der Agententechnologie am Beispiel spezieller Planungsszenarien auf. Es werden zwei zentrale Methoden, die Agenten-unterstützte Planung und die Modellierung von Planungsprozessen mit Petri-Netzen, zusammengeführt, um eine prozessoptimierte vernetzt-kooperative Planung zu modellieren. Am Beispiel der vorbeugenden baulichen Brandschutzplanung wird gezeigt, wie Teilbereiche der Fachplanung mithilfe dieser Methoden zu einem Verbund zusammengefügt werden können. Der Einsatz der Agententechnologie unterstützt den Fachplaner bei der Bearbeitung der Planungsvorgänge und verbessert die Konsistenz der Modellierungszustände. Die Prozessmodellierung mit Petri-Netzen koordiniert den Ablauf der Arbeitsvorgänge, steuert die dynamische Kommunikation während der Projektbearbeitung und bindet die notwendigen Modell- und Methoden-Ressourcen in den Planungsprozess ein.

Literatur

Baumgarten, B. (1996): Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen, Spektrum Akademischer, Verlag, 1996.

Bellifemine (2006): TILAB Italia; JADE, The Java Agent Development Framework, <http://jade.cselt.it>, Stand: 07/2006.

Bretschneider, D. (1998): Modellierung rechnerunterstützter, kooperativer Planung in der Tragwerksplanung. VDI, Düsseldorf.

Ferber, J. (1999): Multi-Agent Systems – An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley. Harlow. England, 1999.

Greb, S. (2006): Petri-Netz-basierte Modellierung und Analyse von Bauplanungsprozessen. Dissertation, Shaker Verlag 2006.

IDEF0 (1993): Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), FIPS PUBS 183, 1993, http://www.idef.com/complete_reports/idef0/IDEF0_TOC.html, Stand: 03/2000.

Katzenbach, R.; Meißner, U.F.; Rüppel, U.; Giere, J.; Greb, S. (2002): Process-oriented Network-based Collaboration in Geotechnical Engineering, In Proceedings of the 9th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering Vol. II Taiwan, 2002.

Klingenberger, H.; Kränzle, H.P (1983): Kommunikation und Nutzerverhalten – die Wahl zwischen Kommunikationsmitteln in Organisationen. In: Picot, A. und Reichwald, R. (Hrsg.) Bürokommunikation, CW-Edition, München, 1993.

Object Management Group (OMG) (2001): Spezifikation of the Unified Modeling Language (UML), Version 1.4, 2001.

Pahl, P.J.; Damrath, R. (2000): Mathematische Grundlagen der Ingenieurinformatik, Springer-Verlag, Berlin, 2000.

Petri, C. A. (1962): Kommunikation mit Automaten. Schriften des Instituts für Instrumentelle Mathematik der Universität Bonn, Bonn, Deutschland, 1962.

Piepenburg, U. (1991): Ein Konzept von Kooperation und seine Identifikation für die technische Unterstützung kooperativer Prozesse. In: Oberquelle, K. (Hrsg.) *Kooperative Arbeit und Computerunterstützung: Stand und Perspektiven*, Verlag für angewandte Psychologie, Stuttgart, 1991.

Rump, F. J. (1999): Geschäftsprozeßmanagement auf der Basis ereignisgesteuerter Prozeßketten. Formalisierung, Analyse und Ausführung von EPKs, Teubner Verlag, 1999.

Rüppel, U. (Hrsg): Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau – Grundlagen, Methoden, Anwendungen und Perspektiven zur vernetzten Ingenieurkooperation. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2007.

Schneider, U.; Lebeda, C. (2000): Baulicher Brandschutz, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2000.

Theiß, M. (2005): Agentenbasierter Modellverbund am Beispiel des baulichen Brandschutzes. Dissertation, Shaker Verlag 2005.

Seeling, R. (1996): *Projektsteuerung im Bauwesen*; Teubner-Verlag, Stuttgart, 1996.

Wooldridge, M.J.; Jennings, N.R. (1995): Intelligent Agents; In: *Proceedings of ECAI - 94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*; Amsterdam, Netherlands, 1994; Springer Verlag, Berlin, 1995.

Xu & Deng (2001): Modeling mobile agent systems with High Level Petri Nets. In: *Proceedings: IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'2000)*, Nashville, NT, USA, 2000.

Prof. Dr.-Ing. Raimar J. Scherer

**Eine objekt-orientierte, technische Simulations-
plattform für Baubetriebsabläufe
Anforderungen - Architektur - Prototyp für die Lehre**

Prof. Dr.-Ing. Raimar J. Scherer

Technische Universität Dresden

Institut für Bauinformatik

Nürnberger Str. 31a, 01062 Dresden

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	165
1	Anforderungen	165
2	Architektur des Systems	167
3	Prozessmodell.....	169
4	Prozessdatenmodell.....	170
5	Produktmodell	173
6	Abfragesprache.....	176
7	Implementierung	176
8	Ausblick.....	179
	Literatur	179

Kurzfassung

Es wird ein Verfahren für Lean simulation erforscht, das es erlaubt, Ablaufplanung und Bauvorbereitung durch Simulationsstudien effektiv zu unterstützen und das es ermöglicht, auf Ablaufänderungen mit schnellen zielführenden Entscheidungen zu reagieren. Hierzu werden Anforderungen definiert und ein erster Entwurf einer Plattform mit einer grafisch-interaktiven Oberfläche zur Repräsentation der aktuellen Situation und zur Simulation von Konsequenzen vorgestellt. Die Plattform sollte einerseits in die Geschäftsprozessmodellierung des Unternehmens eingebettet sein und andererseits die formale Prozessmodellinformation für Workflowsysteme liefern. Ein Ansatz für eine durchgehende Modellierung wird vorgestellt, und die Architektur, sowohl die Datenmodellarchitektur als auch die Systemarchitektur, wird skizziert. Der Ansatz baut auf einer dynamischen Prozessmodellierung auf, die es erlaubt, auf operativer Ebene schnell Alternativen einzufügen, zu verwalten und zu vergleichen. Ein erster vereinfachter Prototyp, einsetzbar für die Lehre, wurde entwickelt und mit Studenten getestet.

1 Anforderungen

Simulationen im Baubetrieb sind zunächst nicht verschieden von Simulationen in anderen produzierenden Gewerben. Ziel der Simulation ist es, die Produktionsabläufe, den Ressourceneinsatz und die Qualität der Produktion zu verbessern bzw. zu optimieren oder Risiken realitätsnah abzuschätzen. Entsprechend dem Simulationsziel sind sehr unterschiedliche Genauigkeiten in der Prozess-, Logistik- und Geometriemodellierung nötig und evtl. auch stochastische Ansätze notwendig. Letztendlich geht es immer um eine monetäre Verbesserung, wenn man davon ausgeht, dass auch zeitliche, organisatorische oder qualitative Verbesserungen in die monetäre Skala transferierbar sind.

Besonderheiten des Bauwesens sind das Unikatprodukt und die nichtstationäre Produktion, die zusätzlich dynamischen Charakter aufweist, da das Produkt ein Teil der Produktionsstätte ist, die sich mit fortschreitender Produkterstellung verändert. Die Topologie des Systems Produktionsstätte ist eine Funktion der Zeit. Aus der Kombination dieser beiden Besonderheiten ergibt sich konsequenterweise

eine dritte, nämlich der Unikatproduktionsprozess. Hinzu kommt, dass ein Bauwerk nahezu immer von mehreren Unternehmen in einer ARGE oder mit einer Vielzahl von Unterauftragnehmern ausgeführt wird. Es ergibt sich als vierte Besonderheit eine Unikatorganisation, zumindest bezüglich der beteiligten Firmen und Personen, auch wenn sich Organisationsformen und -abläufe teilweise in etwa wiederholen. Dieser Wiederholungsaspekt ist in den anderen drei Besonderheiten in ähnlicher Weise gegeben und soll zur Problemlösung genutzt werden.

Alle 4 wesentlichen Komponenten des zu simulierenden Systems sind Unikate oder haben Unikatcharakter. Daraus ergeben sich wesentliche Konsequenzen. Das Ergebnis der Simulation muss sofort, d. h. ohne Lerneffekt umsetzbar sein, und der Aufwand der Simulation muss sich bei einer Produkterstellung amortisieren, wobei meistens kein, in Ausnahmen nur ein geringer Wiederholungsgrad gegeben ist. Ausnahmen liegen z. B. in besonderen Linienbaustellen des Straßen-, Brücken-, Tunnel- oder Hochbaus vor. Klassische Beispiele sind hierfür die 345 km lange Hochgeschwindigkeitstrasse von Taipeh nach Kaohsiung in Taiwan mit 242 km aufgeständerten Brückenbauwerken, davon 66 km als vorgespannte Hohlkastenbrücken, und die Transrapidtrasse bei Shanghai.



Bild 1.1: Linienbaustelle Schnellbahntrasse Taipeh – Kaohsiung, Taiwan
(ausgeführt von Bilfinger Berger; Fotos: Scherer)

Eine rentable Simulation im Bauwesen muss daher sehr effizient in ihrer Durchführung sein. Hierzu ergeben sich mehrere Ansatzpunkte:

- 1) Modelldaten

Übernahme von Modelldaten aus anderen Bereichen der Bau- und der Bauausführungsplanung.

2) Modellerstellung

Konfiguration des Modells aus Modellbausteinen, die leicht aufzufinden und leicht zu konfigurieren sind.

3) Modellmodifikation

Grafisch interaktive Modifikationsmöglichkeit, um logische Fehlmodifikationen zu vermeiden, Modifikationsentscheidungen schnell zu treffen und Modifikationen einfach vornehmen zu können.

4) Simulationsrepräsentation

Die grafische Repräsentation sollte möglichst einfach, anschaulich und transparent sein. Sie sollte sowohl technischer als auch geometrischer Natur sein, wobei VR nicht immer zwingend notwendig ist.

5) Modellstruktur

Das Modell sollte möglichst hierarchisch aufgebaut sein, um sowohl die Modellierung als auch die Simulationsrepräsentation auf das jeweils Notwendige begrenzen zu können und möglichst viele Teile sowohl der Modellierung als auch der Simulation in spezielle Programme auslagern zu können.

Bei dem Modell ist zu unterscheiden in das Produktmodell, das sich untergliedert in das Bauwerk, die Baustelle und die Ressourcen, und das Prozessmodell.

2 Architektur des Systems

So wie es Lean construction gibt, muss es das Ziel sein, Lean simulation zu entwickeln. Das Simulationssystem sollte modular aufgebaut sein, wie schon von *Hajjar & AbouRizk 1998* vorgeschlagen, und seine Komponenten sollten als Web-Services entwickelt werden. Damit ergibt sich der Vorteil, möglichst viele Teile leicht extern zu nutzen, wie aufgabenspezifische Simulatoren, Detailuntersuchungen mit VR oder Materialflussuntersuchungen, und so effektiv eine diskrete ereignisorientierte Simulation durchzuführen. Im Extremfall reduziert sich der Kern des Simulationssystems auf eine Plattform, auf der Werkzeuge und Datenbanken (Wissen, Informationen, Modelle und Daten) zu verwalten und Dienste für die Interoperabilität zur Verfügung zu stellen sind. Eine entsprechende Plattform wurde

z. B. im EU-Projekt ISTforCE (*Katranuschkov et al 2001*) für die virtuelle Planung entwickelt und im EU-Projekt IntelliGrid (*Gehre, Katranuschkov, Scherer 2007*) mit noch höherer Flexibilität auf Basis der Grid-Technologie für das Komponenten- und Datenmanagement und der Ontologie für die Interoperabilität weiterentwickelt. Eine Erweiterung dieser Methodik auf die Anwendung des Baumanagements erfolgt derzeit mit dem BMBF-Projekt BauVOGrid (*Scherer 2007a*), in der die ontologischen Methoden wesentlich erweitert werden und eine dynamische Prozessmodellierung entwickelt wird.

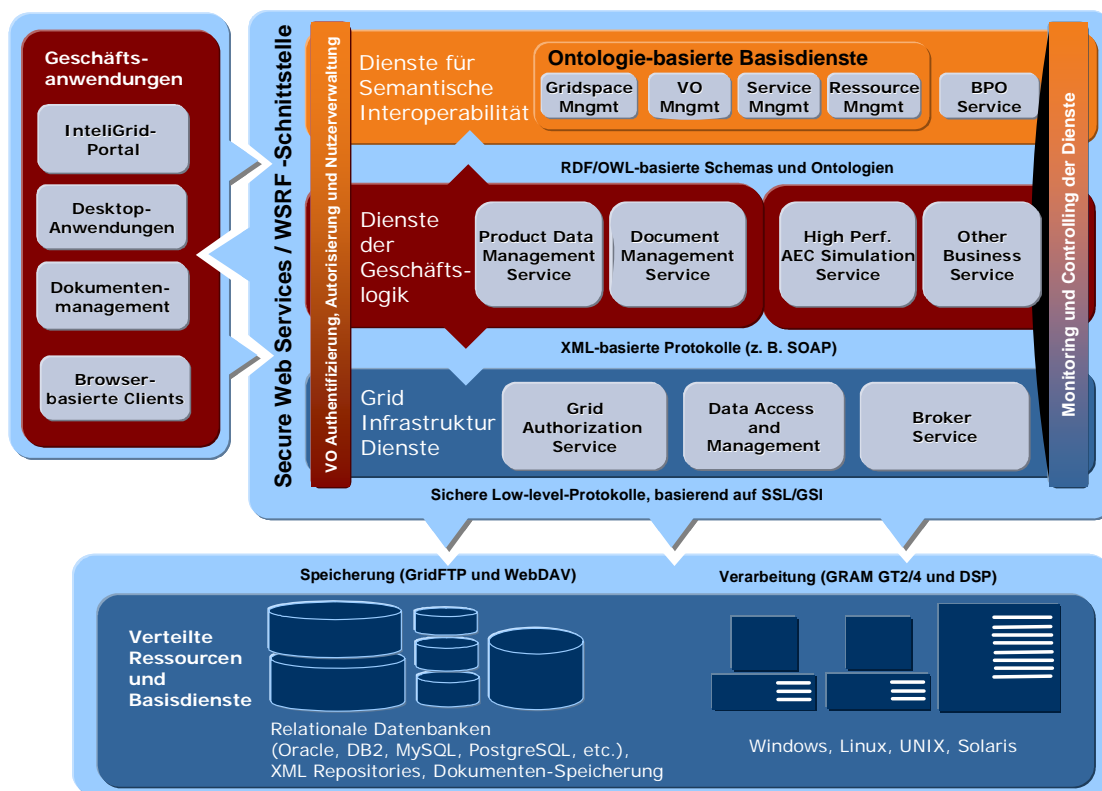


Bild 2.1: Vorschlag für eine Grid-basierte Architektur der Simulationsplattform

Die Architektur einer entsprechenden Simulationsplattform auf Grid-Basis ergibt sich in Anlehnung an IntelliGrid (*Turk 2006*) als Fünfschichtenmodell mit den drei Kernschichten (*Bild 2.1*)

- 1) Interoperabilitätsschicht, basierend auf ontologischen Methoden.
- 2) Geschäftslogik der Dienste (externe Programme), basierend auf Grid-Technologie.
- 3) Middlewareschicht, basierend auf Grid-Technologie.

Damit ist eine formale Hülle (Framework) geschaffen, mit der unterschiedliche Programme und Datenablagen, gesteuert über eine Geschäftslogik, zusammengebunden werden können. Die Geschäftslogik oder (IT-)Prozesslogik selbst ist hierdurch noch nicht gegeben.

3 Prozessmodell

Die Prozesslogik zur Interaktion von Daten und Programmen wird in Form eines Workflows repräsentiert und ist vom Anwender zu definieren. Dieses wird damit Teil des Prozessmodells, das vom IT-Teil bis zur Geschäftsprozessmodellierung reicht, und erweitert so die bekannte Prozessmodellhierarchie (Bild 3.1).

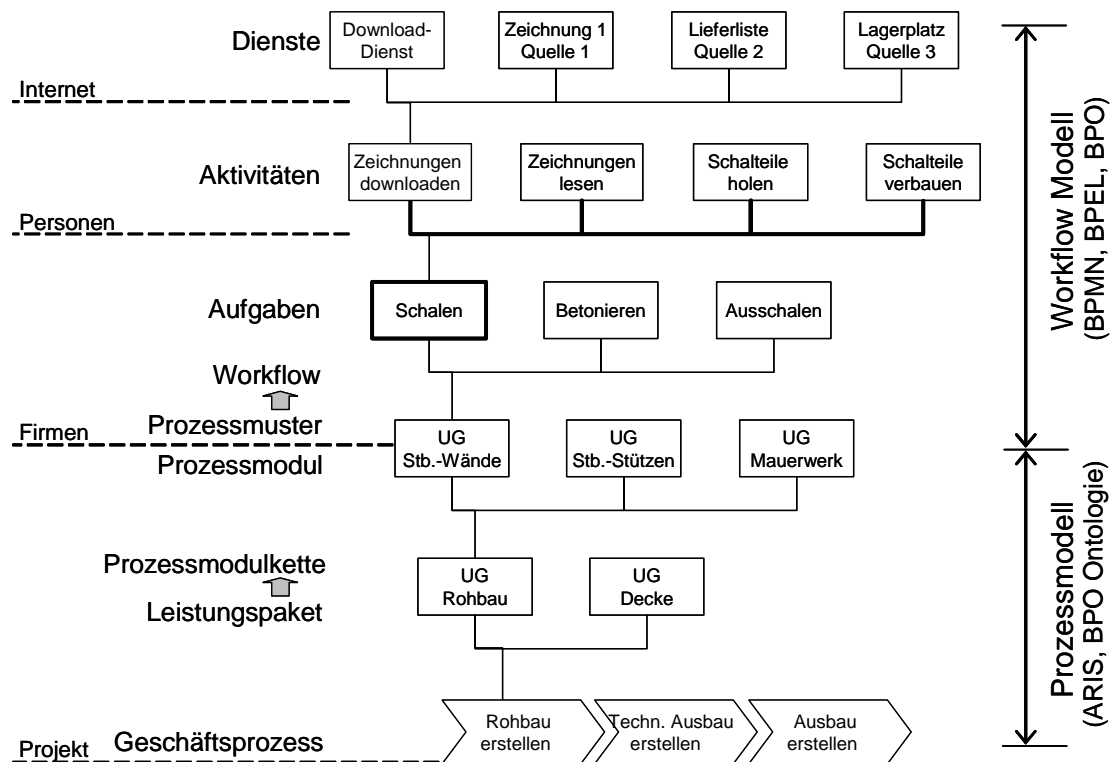


Bild 3.1: Prozessmodellhierarchie

Eine durchgehende Modellierung war bisher noch nicht möglich. Historisch gewachsen sind zwei Modellierungsbereiche. Zum einen der Bereich der Geschäftsprozessmodellierung bis zur Modellierung der Aufgabenabfolge, z. B. mit Vorgangsdiagrammen, und zum anderen der Bereich der Workflowmodellierung der Aufgaben bis zu den Webservices. Ersteres wird häufig auch als Prozessmodell, letzteres als Workflowmodell, das Webdienstmanagement im speziellen als Or-

chestrierung bezeichnet. Die Namensgebung ist oftmals nicht eindeutig, der Übergang fließend, Begriffe werden unterschiedlich verwendet. Der Bruch in der Modellierung liegt zwischen den Vorgängen bzw. den Workflows und den Aktivitäten, da beide Modellierungsbereiche einander überschneiden. Durch den ontologischen Ansatz, den wir (*Katranuschkov, Gehre & Scherer 2007*) in InteliGrid entwickelt haben, kann dieser Bruch eliminiert werden, so dass auf Basis der ontologischen Modellierung eine hierarchische und zudem flexible Durchgängigkeit von der Geschäftsmodellierung bis zum Aufruf eines einzelnen Webdienstes nun möglich ist, z. B. das einfache Öffnen einer Datei, die an beliebiger Stelle im Web liegen kann, wie in Bild 3.1 dargestellt.

Die Prozessmodellierung kann nun auf beliebiger Ebene mit unterschiedlichen Werkzeugen erfolgen. Die von uns derzeit bevorzugte Prozessmodellierungsmethode ist die mittels ereignisgesteuerter Prozessketten (EPK) bzw. erweiterter ereignisgesteuerter Prozessketten (eEPK), die eine Modellierung der Ressourcen möglich machen. Eine automatische Transformation von EPK in Petrinetze ist möglich (*Dabagh 2006*). Für die Transformation von eEPK sind komplexe Erweiterungen notwendig. Derzeit untersuchen wir die Anwendung von objektorientierten Petrinetzen und hoffen, mit diesen einen Teil der Probleme lösen zu können (*Dabagh 2007*).

4 Prozessdatenmodell

Ein einheitlicher Standard für ein Prozessdatenmodell existiert nicht. Die meisten Prozessmodelle sind zudem noch nicht formalisiert, d. h. noch nicht in computerlesbarer Form, sondern grafisch basiert, so auch die EPK. Eine interne Formalisierung der eEPK liegt im ARIS-Tool (*Scheer 1998*) zwar vor, sie ist aber nicht öffentlich zugänglich. Objektorientierte proprietäre Prozessdatenmodelle wurden z. B. für den Grundbau von (*Holz et al 2007*) und (*Katzenbach et al 2007*) sowohl für die Prozessplanung als auch für die Prozesssimulation entwickelt. Beide liegen in formalisierter Form vor.

Ein Prozessmodell sollte aus einem Konzeptkern und beliebig vielen daraus abgeleiteten Ausprägungen bestehen, die auch als Referenzmodell bezeichnet werden, um ein möglichst flexible Datenmodellierungsfähigkeit und Erweiterbarkeit zu er-

halten. Eine Möglichkeit zum Aufbau eines Prozessmodells bietet das IFC-Datenmodell (*Wix & Katranuschkov 2007*), denn die im IFC-Modell definierten Objektklassen bezüglich Prozessmodellierung sind als Konzeptkern geeignet.

Der von uns vorgeschlagene Konzeptkern besteht aus den Objektklassen

- Rolle (*IfcActorRole*),
- Aufgabe (*IfcTask*),
- Prozess (*IfcProcess*),
- Zeit (*IfcScheduleTimeControl*),
- Verknüpfung (*IfcRelSequence*),

erweitert um die Objektklassen

- Ereignis,
- Verknüpfungsoperatoren (derzeit AND, OR, XOR).

Die Objekte des Konzeptkerns werden als abstrakte Klassen definiert, so dass beliebige Ausprägungen als Unterklassen aus ihnen entwickelt werden können. Das ermöglicht auch in der objektorientierten Implementierung, eine Klassenerweiterung während der Laufzeit vorzunehmen, wodurch die stärkste Begrenzung der objektorientierten Modellierungswerkzeuge, nämlich die Begrenzung der Modellierungsfreiheit auf die vordefinierten Klassen, aufgehoben werden kann. Ein erster Entwurf eines Prozessmodellfragments ist in Bild 4.1 dargestellt.

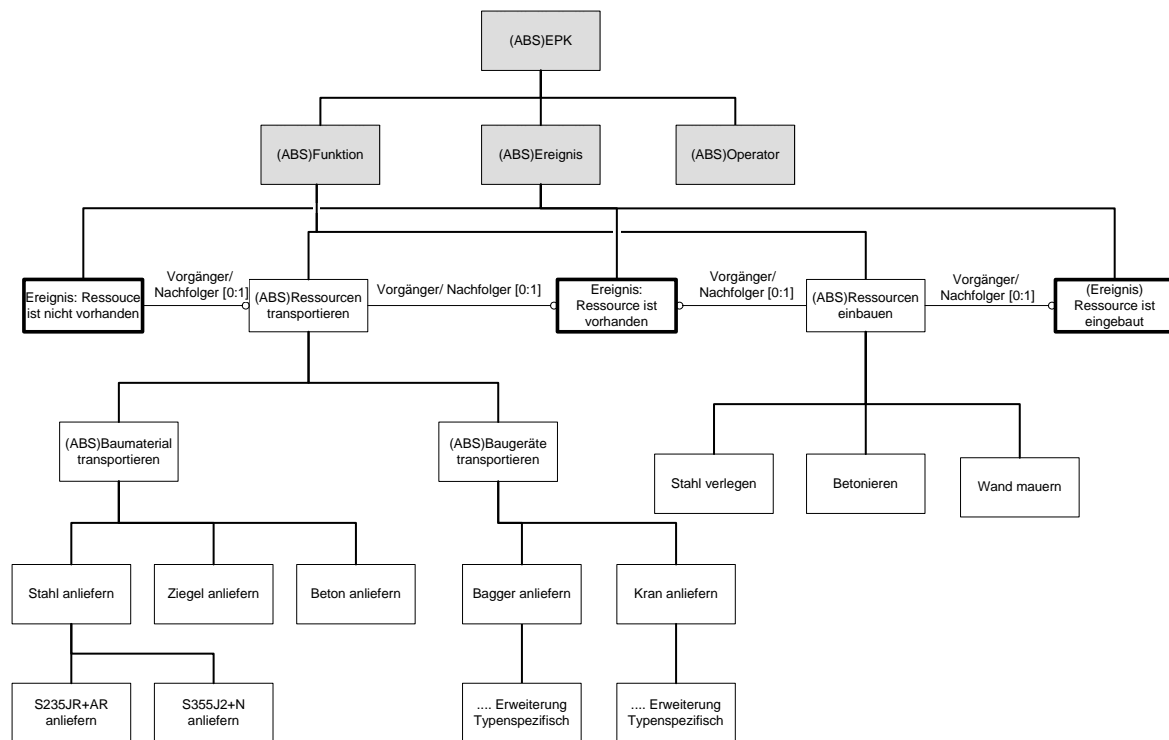


Bild 4.1: Prozessmodell: Konzeptkern (schraffiert) mit einigen beispielhaften Ausprägungen des Referenzprozessmodells

Das Prozessmodell sollte zum einen aus der Bauvorbereitung übernommen werden. Entsprechend ist eine objektorientierte Schnittstelle auf SPF-Basis (ISO 10303) vorzusehen, die im XML-Format ausgeprägt sein kann. Zum anderen sollte das Prozessmodell dynamisch konfigurierbar sein, um sowohl seine Erzeugung als auch Modifikationen schnell und konsistent bewerkstelligen zu können. Modifikationsanforderungen ergeben sich durch die Alternativenbildung sowohl für die Simulation als auch für die Anpassung an den aktuellen Bauzustand, der laufenden Störungen unterliegt. Mit dem flexiblen, hierarchisch strukturierten Modulierungskonzept, das von uns (*Keller 2007*) in Kooperation mit dem Institut von Scheer/Loos (*Theling & Loos 2006, Sarshar et al 2006*) im Projekt ArKoS entwickelt wurde, in Verbindung mit der Methode der ontologiebasierten Businessobjekte (*Gehre, Katranuschkov, Scherer 2007*), entwickelt im Projekt InteliGrid, sind die Grundsteine einer flexiblen bausteinbasierten Prozessmodellierungsmethode gelegt (*Scherer 2006*). Zur konsistenten Verwaltung der Vielzahl von Aufgaben haben *Huhnt & Enge 2007* eine Methode basieren auf Mengentheorie und relationaler Algebra entwickelt.

5 Produktmodell

Das Produktmodell ist sinnvollerweise in das Modell des Bauwerks, das Modell der Baustelle und das Modell der Ressourcen, wie Material, Maschinen und Personen, zu unterteilen. Nach (Scheer 1998) sollten als weitere Ressourcen die Organisation und die Informationen berücksichtigt werden.

Für das Produktmodell liegen unterschiedliche, teilweise auch standardisierte Datenmodelle vor (Chahrour 2006, Scherer 2007). Das am weitesten entwickelte und am besten strukturierte ist das IFC-Modell der IAI (IAI.com), das auch als ISO PAS 16739:2005 genormt ist. Es ist jedoch erst für die Domäne Hochbau entwickelt, wobei die meisten Ausbaugewerke noch fehlen. Das IFC-Modell besteht aus einem Kernmodell, das wesentlich mehr als den Konzeptkern beinhaltet, den Ressourcenmodellen, die aus STEP (ISO 10303) entliehen sind, und mehreren Erweiterungsmodellen (extension models), die weitere Domänen, wie Tragwerksmodell oder HKL-Modell, abbilden. Das Kernmodell selbst beinhaltet das Architekturmodell sowie Konzepte für Erweiterungen, wie das schon erwähnte Prozesskonzept. Das IFC-Kernmodell ist somit umfangreicher als das Kernkonzept Bauwerk. Es beinhaltet sowohl den Konzeptkern Bauwerk als auch die Ausprägung für den Hochbau sowie weitere Konzeptkerne.

Die von uns vorgeschlagene Methode der Konzeptkerne oder auch die Kernmodellmethode der IAI (IAI.com) und von STEP (ISO 10303) sind Voraussetzung dafür, dass die Transformation (Mapping) möglich ist. Bei beliebig erstellten Teilmodellen, auch als proprietäre Modelle bezeichnet, ist eine Transformation oftmals nicht mehr mit endlich großem Aufwand möglich und ist vor allem oftmals nicht eindeutig möglich, wie (Katranuschkov 2000) gezeigt hat. Die Unzulänglichkeiten der IFC-Schnittstelle der CAD-Programme belegen dies in der Praxis nur zu deutlich, denn jedes CAD-Programm hat sein historisch gewachsenes proprietäres Datenmodell.

Für die Baustelle kann z. B. auf das von (Töpfer 2000) entwickelte proprietäre Modell zurückgegriffen werden, das jedoch nur schwach strukturiert ist und mehr eine flache Objektformulierung aufweist. Einen expliziten Konzeptkern weist es nicht auf. Es folgt eher einer relationalen Datenstruktur.

Für die Ressourcen liegen ebenfalls etliche proprietäre Datenmodelle vor, die je-

doch oftmals nicht als Objektmodelle, sondern als relationale Datenstruktur formuliert sind. Sie weisen ebenfalls keinen expliziten Konzeptkern auf.

Aufgrund dieses Standes haben wir uns entschlossen, ein eigenes objektorientiertes Datenmodell mit expliziten Konzeptkernen für die verschiedenen Teilmodelle des Produktmodells unter Verwendung des IFC-Modells zu entwickeln (Bild 5.1), die wieder als abstrakte Objektklassen implementiert wurden.

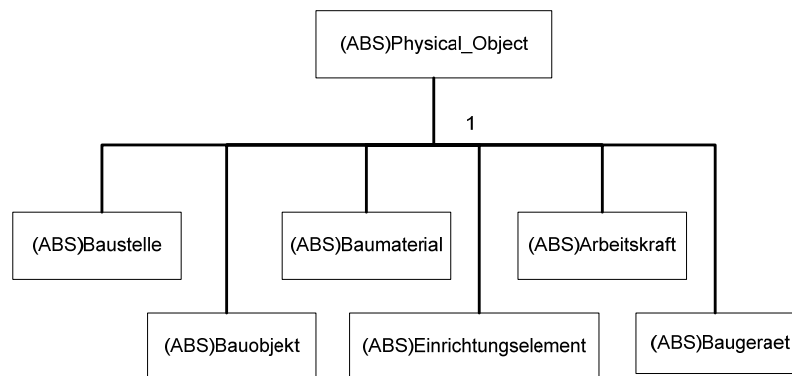


Bild 5.1: Oberste Ebene des vorgeschlagenen Produktmodells Baustelle mit Konzeptkernen

Das Materialressourcenmodell könnte neben der Beschreibung der Materialien auch den Materialfluss mit der Transportlogistik beinhalten, falls dieses nicht getrennt formuliert wird. Besser ist es, ein separates Logistikmodell aufzubauen, wie es beispielhaft in Bild 4.1 mit „Ressourcen transportieren“ schon angedeutet ist.

Das Material kann zwar prinzipiell aus dem Bauwerksmodell abgeleitet werden, jedoch ist das sein Endzustand. Zum Einbau des Materials werden Bauhilfsstoffe, wie z. B. die Schalung, benötigt. Die Schalung zählt wieder als Teil der Produktionsstätte. Soll Mehrfachvererbung vermieden werden, was immer anzustreben ist, so ist eine der beiden Zugehörigkeiten durch eine einfache Relation auszudrücken, was bedeutet, dass aus diesem Superobjekt keine Eigenschaften geerbt werden können. Nicht alle Materialien sind im (CAD-)IFC-Bauwerksmodell enthalten, sondern nur die Grundelemente. So sind Fliesen, Teppichböden, Bodenleisten, Tapeten etc. nicht Teil des (CAD-)IFC-Bauwerksmodells. Von der IAI wird derzeit ein Erweiterungsvorschlag in der Arbeitsgruppe Mengen erarbeitet. Das vorgeschlagene Extended Model ist nicht Bestandteil des (CAD-)IFC-Bauwerksmodells, sondern Teil des AVA-Modells, der historischen Entwicklung Rechnung tragend. Die (CAD-) IFC-Bauwerksmodellelemente sind Bezugsele-

mente (Masterelemente), aus deren Mengen die Menge der Ausbau- und Detail-elemente abgeleitet wird. Auch die Bezugselemente werden in das AVA-Modell übergeben. Dieser Informationsfluss ist nicht invers vorgesehen, so dass sich zwei parallele Produktmodelle entwickeln, die, dem derzeitigen Konzept entsprechend, nicht konsistent gehalten werden können, was sich sicherlich noch ändern wird. Die Extraktion ist nicht ganz trivial, wie (Weise 2006) und (Scherer 2007b) dargestellt haben, da es sich um eine komplexe Viewbildung (Teilmodellbildung, Filterung) handelt, die zusätzlich mit Mengenermittlungsvorschriften, wie z. B. der VOB, zu verknüpfen ist. Hierzu wird eine Abfragesprache benötigt. Als ein Zwischenschritt hierzu kann die View-Konzeptmethode gesehen werden (Gökce, Scherer, Dikbas 2007), bei der ein Schema-View eines Konzepts, wie z. B. Product Catalogue oder Cost, alle zugehörigen IFC-Elemente enthält. Damit wird die operative Objekt-Viewbildung beschleunigt, wenn die von uns entwickelte zweistufige Viewbildung (Weise, Katranuschkov, Scherer 2003) mit der GMSD-Methode verwendet wird.

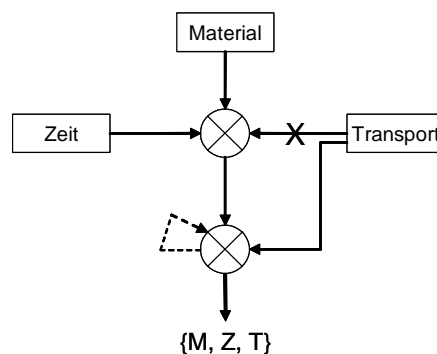


Bild 5.2: Erzeugen des Materialflusses mit dem Wertetripel [Material, Zeit, Transportmittel]

Der Materialfluss ist mit der Arbeitsablaufplanung zu koordinieren und in Einheiten blockweise zu erfassen. Diese sind nach (Weber 2006), den Transport- einschließlich Umsetz- und Lagerkapazitäten entsprechend, in Transporteinheiten zu gruppieren. Es ergibt sich eine gestufte Verknüpfung (Bild 5.2). Der Transport ist wieder ein Teil des Prozesses, die Transportmittel sind ein Teil der internen oder externen Fuhrparks. Besonders spannend ist hier, dass die Materialflusstopologie zeitabhängig ist. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass ein Teil der Bauelemente als Fertigprodukte (Fertigteile, Türen, Fenster etc.) oder als Halbprodukte (Mauersteine, Dachziegel, Mörtel, Fertigbeton) auf der Baustelle angeliefert werden. Das

Materialmodell sollte das berücksichtigen und, wie in Bild 5.3 dargestellt, aufgebaut sein.

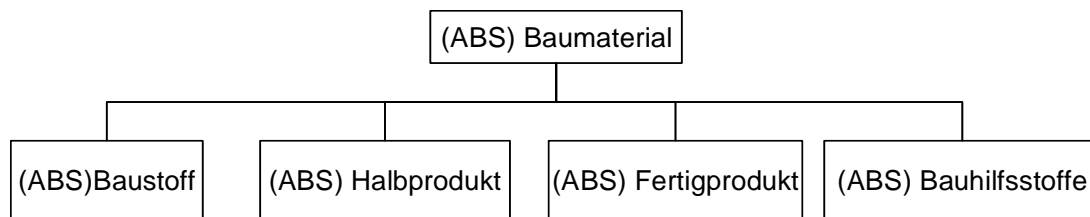


Bild 5.3: Oberste Ebene des Materialmodells

6 Abfragesprache

Allen Datenmodellen ist zueigen, dass sie in informatorischer Notation und Struktur aufgebaut sind, die den Kriterien der Eindeutigkeit, Redundanzfreiheit, minimalen Abbildung etc. folgt, da dies von der Datenbank sicherzustellen ist. Ein Datenmodell ist erst nachrangig nach den Denkmustern der Anwender konzipiert. Dies ist ein Grundgesetz der Datenbanktechnologie, und daher wird immer wieder darauf hingewiesen, dass spezielle Nutzerschnittstellen notwendig sind, die eine nutzergerechte Aufbereitung der Daten vornehmen. Operativ umgesetzt, bedeutet dies a) Teilmodellbildung und b) Modelltransformation. Entsprechend wurde von uns (*Gehre et al 2003*) eine Ingenieurabfragesprache beispielhaft für den Bereich Tragwerksplanung entwickelt. Sie basiert auf ontologischen Methoden, die ihr eine hohe Flexibilität und Mächtigkeit verleihen. Sie liegt als Prototypentwurf mit Anwendung auf die Tragwerksplanung vor und wurde im Rahmen des EU-Projekts ISTforCE einem erfolgreichen Verifikationstest unterworfen. Sie erscheint uns geeignet für alle Datenmodelle der Simulation. Hierzu ist sie entsprechend zu generalisieren und um Domänenwissensbanken zu erweitern.

7 Implementierung

Im Rahmen eines ersten Tests des vorgeschlagenen objektorientierten Konzepts für eine Simulationsplattform wurde ein Prototyp implementiert, an dem folgende Eigenschaften getestet wurden:

- Erweiterbare objektorientierte Datenstruktur,

- Objektorientierte Datenschnittstelle in SPF und XML,
- Graphisch-interaktive Benutzerschnittstelle,
- Vereinfachte 2D-Graphik mit technischer Symbolik zu Visualisierung,
- Definition technischer Diagramme zur Darstellung von technischen und ökonomischen Zusammenhängen und Details.

Das web-basierte modulare Konzept wurde nur insoweit implementiert, dass die Plattform mittels eines Standardbrowsers bedient werden kann und die Simulationsdaten einschließlich objektorientierter Erweiterungen in einer Datenbank für alle Benutzer gemanagt werden. In einem Screenshot (Bild 7.1) ist der prinzipielle Aufbau der graphisch-interaktiven Oberfläche zu sehen. Unterhalb des graphischen Repräsentationsfensters ist ein Programmierfenster angeordnet. Hier können zur Laufzeit sowohl Programmänderungen vorgenommen als auch neue Objektklassen definiert und Objekte instantiiert werden. In einem weiteren Fenster erfolgt die EPK-Darstellung des Prozessablaufs. Die graphische Eingabe der EPK erfolgt in einem getrennten Programm, und die EPK werden über eine objektorientierte Schnittstelle eingelesen. Die EPK-Objektklassen können über die o. g. Programmierschnittstelle erweitert werden. Auch kann die instantiierte EPK über die Programmierschnittstelle modifiziert und ergänzt werden. Eine einfache graphisch-interaktive Schnittstelle zu Einfügen, Löschen und Ändern von EPK ist in Bearbeitung und wird eine Gültigkeitsprüfung beinhalten. Insgesamt hat sich die Programmierschnittstelle als sehr hilfreich bei der Entwicklung der verschiedenen objektorientierten Datenmodelle erwiesen, da sofort eine graphisch-visuelle Rückkopplung gegeben ist. Besonders für die komplexen Zusammenhänge, die sich zwischen den Modellen ergeben können, ist die interaktive Programmierschnittstelle mit den verschiedenen graphischen Darstellungen sehr hilfreich.

Die Simulationsplattform soll die Funktion einer Steuerzentrale oder eines Leitstandes erfüllen. Daher sind möglichst sowohl Detailuntersuchungen als auch Modellierungen an externen Werkzeugen auszulagern, wie in Kapitel 2 dargelegt. Im Gegensatz zu einer allgemeinen Werkzeugplattform, wie sie in ISTforCE und IntelliGrid entwickelt wurden, soll die Simulationsplattform auch eine Übersicht über den simulierten Prozess bieten, so dass die Simulationen gesteuert und alternative Simulationen aufgesetzt werden können.

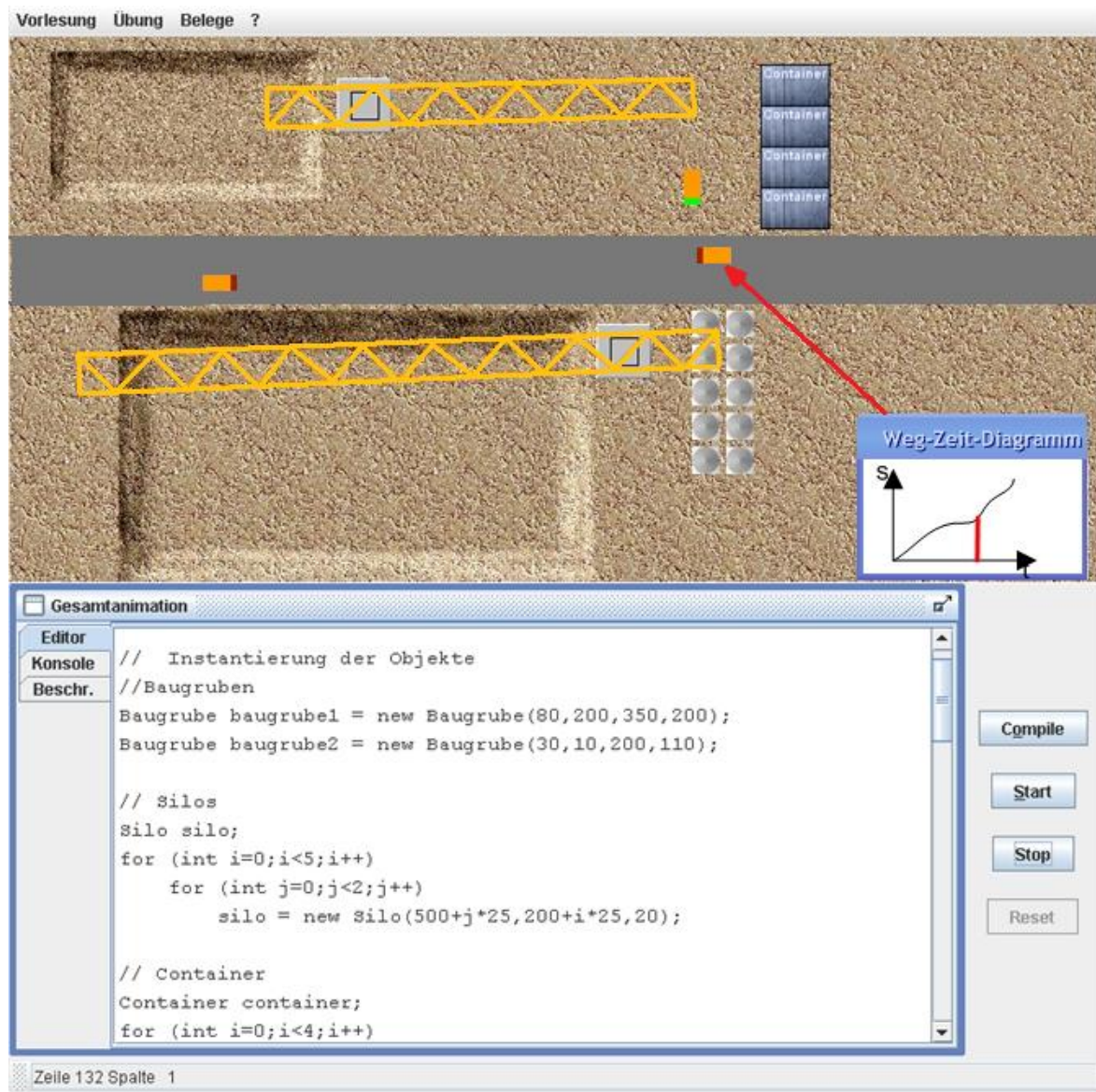


Bild 7.1: Screenshot der graphisch-interaktiven Oberfläche

Aus diesem Grund wurde die Simulationsplattform mit der in Bild 7.1 dargestellten 2D-Visualisierung ausgestattet. Die Darstellungsgenauigkeit und -tiefe kann vom Anwender durch die Auswahl der darzustellenden Objekte und ihre Symbolik bestimmt werden. So kann z. B. ein Lkw als Kreis, als zwei Rechtecke (Bild 7.1) oder als Pixelphoto dargestellt werden. Untersuchungen, die im Projekt ToCEE von *Mangini & Sparacello 1999* für Grundbauprozesse durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass eine 2D-Visualisierung in Verbindung mit technischen Diagrammen eine notwendige und ausreichende Visualisierung darstellen, um den Simulationsablauf verfolgen, ihn grob beurteilen und gezielt Simulationsmodifikationen vornehmen zu können.

8 Ausblick

Die ersten prototypischen Tests mit Studenten haben gezeigt, dass mit dem Konzept einer zentralen Steuereinheit, die eine einfache symbolische 2D-Visualisierung für die wesentlichen Vorgänge aufweist, ergänzt um technische Diagramme, die nach Bedarf geöffnet werden können, ein Effektivitätspotential erschlossen werden kann, das es ermöglichen dürfte, die diskrete ereignisorientierte Simulation für einige Praxisbereiche interessant zu machen.

Der besondere Vorteil des Systems ist es, dass in jeder Granularitätsstufe des Produkt- und des Prozessmodells externe, spezialisierte Simulationswerkzeuge für Detailanalysen und -simulationen genutzt und sowohl auf sehr abstrakter als auch auf sehr detaillierter Stufe angewendet werden können. Wesentlich ist, dass die internen und externen Datenmodelle identisch oder zumindest ähnlich sind, z. B. ein gemeinsames Kernkonzept aufweisen, so dass die bekannten Interoperabilitätsmethoden angewandt werden können und eine konsistente Datentransformation (Mapping) möglich ist.

Datenmodelle müssen nicht vollständig sein, sondern können über die interaktive Programmierschnittstelle der JAVA-Implementierung ergänzt und modifiziert werden. Es ist möglich, selbst neue Objektklassen einzuführen. Diese Programmierschnittstelle ist nicht nur für eine schnelle Programmierentwicklung (Rapid prototyping) wichtig, sondern erlaubt, die starre Begrenzung auf eine vordefinierte Elementwelt aufzuheben. Das vorgestellte System mit seiner graphisch-interaktiven Schnittstelle ist ein erster Entwurf, der in nächster Zeit noch einigen Modifikationen unterliegen wird, bis eine stabile System- und Datenmodellarchitektur und eine stabile graphische Oberfläche vorliegen werden.

Literatur

Chahrour, R.; Franz, V. (2006). „Integration von CAD und Simulation zur Analyse von Erdbauprozessen“, in Wenzel, S. (ed.) *Simulation in Produktion und Logistik 2006*, 12. ASIM Fachtagung, Kassel, 25. – 27. Sept. 2006, SCS Publishing House e.V., San Diego-Erlangen, ISBN 3-936150-48-6.

Dabagh, J. (2006). „Simulation und Modellierung der Prozesse im Bauwesen unter Verwendung von Petrinetzen“, in: Koch, Ch. et al. (Hrsg.): *18. Forum Bauinformatik 2006*, Verlag der Bauhaus-Universität Weimar, ISBN-10: 3-86068-291-1, Weimar, Sept. 2006.

Dabagh, J. (2007). Übersicht über Objektpetrinetze, *Interner Bericht*, Institut für Bauinformatik, TU Dresden.

Gehre, A.; Katranuschkov, P.; Scherer, R. J. (2007). „Managing Virtual Organization Processes by Semantic Web Ontologies“, in: Rebolj D. (Hrsg.): „CIB-W78 Conference on Bringing ITC Knowledge to Work“, Maribor, Slowenien.

Gökce, U.; Scherer, R. J.; Dikbas, A. (2007). „IFC-based Computer-integrated Construction Project Management Model“, in: Rebolj, D. (Hrsg.): „CIB-W78 Conference on Bringing ITC Knowledge to Work“, Maribor, Slowenien.

Hajjar, D.; AbouRizsk, S. M. (1998). A Framework for Applying Simulation in Construction, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Ottawa 25 (3), S. 604 – 617

Holz, K.-P.; Schley, F.; Savidis, S.; Rackwitz, F.; Mejsstrik, M. (2007). „Berücksichtigung von Ausnahmefällen bei der kooperativen Bearbeitung von Projekten des Konstruktiven Tiefbaus“, Kapitel 3. In: Rüppel, U. (Hrsg.) „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“, Springer-Verlag 2007.

Huhnt, W.; Enge, F. (2007). „Consistent Information Management for Structuring Construction nActivities“, in: Rebolj, D. (Hrsg.): „CIB-W78 Conference on Bringing ITC Knowledge to Work“, Maribor, Slowenien.

Katranuschkov, P. (2000). Modelling the concurrent engineering environment (Konzeptionelle Modelle zur Unterstützung von Concurrent-Engineering-Prozessen). Dissertationsschrift. TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Bauinformatik, Heft 1.

Katranuschkov, P.; Scherer, R. J.; Turk, Z. (2003). „Intelligent Services and Tools for Concurrent Engineering - An Approach towards the Next Generation of Collaboration Platforms”. e-journal ITcon, www.itcon.org

Katranuschkov, P.; Gehre, A.; Scherer, R. J. (2003). „An Ontology Framework to Access IFC Model Data”, Journal ITcon, Volume 8, 1-24.

Katranuschkov, P.; Gehre, A. & Scherer, R. J. (2007). „Reusable Process Patterns for Collaborative Work Environments in AEC. 13th International Conference on Concurrent Enterprising”, Pawar, K. S.; Thoben, K. D.; Pallot, M. (Hrsg.): www.ice-conference.org, Sophia-Antipolis, Frankreich, Juni 2007.

Katzenbach, R.; Giere, J.; Rüppel, U.; Wagenknecht, A.; Greb, S. (2007). “Prozessorientierte Vernetzung von Ingenieurplanung am Beispiel Geotechnik”, Kapitel 4. In: Rüppel, U. (Hrsg.) „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“, Springer-Verlag 2007.

Keller, M. (2007). „Informationstechnisch unterstützte Kooperation bei Bauprojekten“, Dissertationsschrift, TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Bauinformatik, Heft 6.

Mangini, M. & Sparacelo, H.-M. (1999). “A Concurrent Engineering Approach to Geotechnical Design and Construction, 2nd International Conference on Concurrent Engineering in Construction, Helsinki, August 1999.

Sarshar, K.; Theling, T.; Loos, P. (2006). “Integrated Business Process Modelling and Simulation – A Case Study from the Construction Industry”, in: M. Martinez & R. Scherer (Hrsg.) “eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction”, Proceedings of the 6th ECPPM, 13. – 15. Sept. 2006, Valencia, Spanien, Taylor & Francis Group, London, UK, ISBN 0-415-41622-1, S. 57 - 64

Scheer, A. W. (1998). “Business Process Engineering: Reference Models for Industrial Enterprises.” Springer-Verlag.

Scherer, R. J. (2006). „Integrierte dynamische Produkt- und Prozessmodellierung mit dem Ziel der Risikobewertung von Bauprojekten“, in Wenzel, S. (ed.) *Simulation in Produktion und Logistik 2006*, 12. ASIM Fachtagung, Kassel, Germany, Sept. 25-27, 2006, SCS Publishing House e.V., San Diego-Erlangen, ISBN 3-936150-48-6.

Scherer, R. J. et al (2007). „BauVOGrid: Grid-basierte Plattform für die virtuelle Organisation im Bauwesen“ – Projektantrag an das BMBF, zur Förderung genehmigt, März 2007.

Scherer, R. J. (2007a). „Product Model Based Collaboration“, In: Rebolj, D. (Hrsg.): *“CIB-W78 Conference on Bringing ITC Knowledge to Work”*, Maribor, Slowenien.

Scherer, R. J. (2007b). „Mehrdimensionale Informationsmodelle“. Kapitel 3.3 aus Schach, R.; Scherer, R. J.; Menzel, K. und weitere Autoren: *„Mobile Computing im Bauwesen“*. expert Verlag GmbH Renningen.

Theling, T.; Loos, P. (2006). „Basic Concept and Reference Model for Exception Handling in Collaborative Workflows“, in: M. Martinez & R. Scherer (Hrsg.) *“eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction”*, Proceedings of the 6th ECPPM, 13. – 15. Sept. 2006, Valencia, Spanien, Taylor & Francis Group, London, UK, ISBN 0-415-41622-1, S. 79 – 86

Töpfer, R. (2000). „Baustelleneinrichtungsplanung – Grundlagen für die manuelle und rechnergestützte Bearbeitung“ In: *“Aus Forschung und Praxis”*, Band 2, expert Verlag GmbH Renningen-Malmsheim, Zugl.: TU Dresden, Dissertation 2000. ISBN 3-8169-1950-2.

Turk, Z. et al (2006). „InteliGrid – Deliverable D13.2 – Semantic Grid Architecture“. The InteliGrid consortium, c/o Universität Ljubljana, Slowenien.

Weber, J. (2006). Simulation von Logistikkonzepten auf Baustellen. In: Sigrid Wenzel (Hrsg.) *„Simulation in Produktion und Logistik“*, ASIM 2006, Kassel, S. 571 – 580.

Weise, M.; Katranuschkov, P.; Scherer, R.J. (2003) "Generalised Model Subset Definition Schema", Proceedings of the CIB-W78 Conference 2003 – Information Technology for Construction, Auckland, 2003.

Weise, M. (2006). „Formalisierung von Berechnungsvorschriften mit EXPRESS bzw. EXPRESS-X“, Bericht an die Arbeitsgruppe Modellbasierte Mengen bei der IAI, TU Dresden, Institut für Bauinformatik.

Wix, J.; Katranuschkov, P. (2007). The Process Matrix and the IFC Model. Eingereicht bei Journal ITcon.

Kontakt:

Institut für Bauwirtschaft
Universität Kassel
Mönchebergstr. 7
34125 Kassel

Fachgebiete:

Bauorganisation und Bauverfahren
Baubetriebswirtschaft
Bauinformatik
Bauwirtschaft/Projektentwicklung

Prof. Franz
Prof. Racky
Prof. Stolzenberg
Prof. Busch

Sekretariate:

0561 / 804 2615
0561 / 804 2619
0561 / 804 2619
0561 / 804 3632

www.ibw-kassel.de

I - Forschung

Band 1: Schopbach, Holger (2001)

Ansätze zur Kostensenkung in Konstruktion und Baubetrieb
durch Einsatz mathematischer Optimierungsmethoden

Band 2: Grau, Heidrun (2002)

Zielorientiertes Geschäftsprozessmanagement zur Förderung der Wirtschaftlichkeit von Abbundzentren

Band 3: Arnold, Daniel (2005)

Entwicklung einer Methodik für Innovationsprozesse im Wohnungsbau

Band 4: Schmitt, Roland (2005)

Die Beschaffung von Schalungsgeräten und den zugehörigen Ingenieurleistungen nach deren Outsourcing

Band 5: Heinrich, Nils (2006)

Entwicklung von Parametern zur Risikobewertung für Projektentwicklungen auf brachgefallenen Flächen - am Beispiel freizeitlich orientierter Projekte

Band 6: Mittelstädt, Norbert (2006)

Leitlinie zur projektbezogenen Spezifikation und erfolgsabhängigen Honorarbemessung von extern beauftragten Projektmanagement-Leistungen

Band 7: Chahrour, Racha (2007)

Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau

Band 8: Mieth, Petra (2007)

Weiterbildung des Personals als Erfolgsfaktor der strategischen Unternehmensplanung in Bauunternehmen. Ein praxisnahes Konzept zur Qualifizierung von Unternehmensbauleitern

Band 9: Mergl, Oliver (2007)

Flexibilisierung von Baustrukturen durch Modularisierung zur Verbesserung des Nutzungspotenziales am Beispiel industrieller Produktionsstätten des Automobilbaus

Band 10: Eitelhuber, Andreas (2007)

Partnerschaftliche Zusammenarbeit in der Bauwirtschaft - Ansätze zu kooperativem Projektmanagement im Industriebau

II - Lehre

Band 1: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)

Seminar Sommersemester 2003, Hochhäuser

III - Tagungen und Berichte

Band 1: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)

Symposium 2002 Projektentwicklung brachgefallener Flächen

Band 2: Racky, Peter (Hrsg.)

3. IBW-Symposium, 17. September 2004 an der Universität Kassel.
Partnerschaftliche Vertragsmodelle für Bauprojekte

Band 3: Racky, Peter (Hrsg.)

4. IBW-Symposium, 15. September 2006 an der Universität Kassel. Innovative Abwicklungsformen für Bauprojekte: Partnering und PPP

Weitere Informationen zur Schriftenreihe unter www.upress.uni-kassel.de

Alle Kosten im Griff

Praxisorientiertes Wissen für das Bauingenieurstudium



Peter Greiner, Peter E. Mayer,
Karlhans Stark
**Baubetriebslehre -
Projektmanagement**
Wie Bauprojekte erfolgreich
gesteuert werden
3., akt. Aufl. 2005. X, 327 S. mit
135 Abb. Br. EUR 27,90
ISBN 978-3-528-27706-2

Einführung - Phasenkonzepte - Bauprojektorganisation - Kosten-
planung - Ablaufplanung - Qualitätsmanagement - Projektent-
wicklung - Objektvorplanung - Bauvorbereitung - Bauausführung
- Facility Management - Zusammenarbeit im Projekt - Innovative
Abwicklungs- und Vertragsmodelle

Bauen ohne Nachträge?!



Ulrich Elwert, Alexander Flassak
**Nachtragsmanagement
in der Baupraxis**
Grundlagen - Beispiele -
Anwendung
2., akt. Aufl. 2007. ca. 200 S. Br.
ca. EUR 25,90
ISBN 978-3-8348-0193-7

Einleitung - Begriffsdefinitionen - Baubetriebliche und bau-
rechtliche Grundlagen - Mögliche Nachtragsursachen und
-folgen - Beispielrechnungen - Dokumentation - Handhabung
von Nachträgen - Nachtragsprophylaxe und alternative
Streitbeilegung - Anhang: VOB/B

Praxisratgeber zur Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung



Wolfgang Rösler, Antonius Busch
AVA-Handbuch
Ausschreibung - Vergabe -
Abrechnung
6., überarb. u. erw. Aufl. 2007.
ca. 250 S. Br. ca. EUR 24,90
ISBN 978-3-8348-0348-1

Rechtliche Grundlagen der Vertragsgestaltung - Technische
Grundlagen - Angebotsverfahren - Vertrags- und Vergabeunter-
lagen - Angebot und Vertrag - Auftragsabwicklung - Aufmaß,
Abrechnung, Zahlung - Haftung und Mängelansprüche - Versiche-
rungen - Unternehmensformen und Funktionen - AVA im
Leistungsbild des Architekten - Computergestützte AVA

Risiken bei Bauaufträgen erkennen und minimieren



Peter Fischer, Michael Maronde,
Jan A. Schwiers
**Das Auftragsrisiko
im Griff**
Ein Leitfaden zur Risikoanalyse
für Bauunternehmer
2007. XII, 247 S. mit 65 Abb.
Br. EUR 29,90
ISBN 978-3-528-03987-5

Auftragsakquise und das Risiko des Bauunternehmers
- Risikomanagement, Begriffe - Risikoanalyse, Risikoma-
nagement im Überblick - Projektrisiken in der Angebotsphase
- Projektrisiken in der Auftragsphase - Projektrisiken in der
Ausführungs- und Gewährleistungsphase - Einfluss eines
richtigen Risikomanagements auf das Rating der Banken

BESTELL-COUPON

Ja, ich bin interessiert und bestelle

Greiner/Mayer/Stark
Baubetriebslehre - Projektmanagement
3. Aufl. 2005. Br. EUR 27,90 ISBN 978-3-528-27706-2

Elwert/Flassak
Nachtragsmanagement in der Baupraxis
2. Aufl. 2007. Br. ca. EUR 25,90 ISBN 978-3-8348-0193-7

Rösler/Busch
AVA-Handbuch
6. Aufl. 2007. Br. ca. EUR 24,90 ISBN 978-3-8348-0348-1

Fischer/Maronde/Schwiers
Das Auftragsrisiko im Griff
2007. XII, 247 S. Br. EUR 29,90 ISBN 978-3-528-03987-5

Vorname und Name

Firma

Abteilung

Straße (bitte KEIN Postfach)

PLZ/Ort

Datum/Unterschrift

zzgl. Versandkosten. Änderungen vorbehalten.
Erhältlich im Buchhandel oder beim Verlag.

Geschäftsführer: Andreas Kösters, Dr. Ralf Birkelbach,
Albrecht F. Schirmacher, AG Wiesbaden HRB 9754

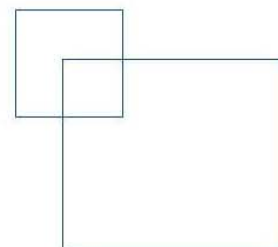
Abraham-Lincoln-Straße 46
D-65189 Wiesbaden
Fax 0611.7878-420
www.vieweg.de





Sichere Lösungen für neues Bauen

Wer baut, braucht zuverlässige Partner. XELLA arbeitet mit innovativen Produkten, Dienstleistungen und Systemlösungen daran, das Bauen von morgen rationeller und kundenorientierter zu gestalten und Baukosten zu optimieren.



Xella Kundeninformation

Telefon: 08 00-5 23 56 65 (freecall)

Telefax: 08 00-5 35 65 78 (freecall)

info@xella.com | www.xella.de

silka

YTONG

