



CIFE CENTER FOR INTEGRATED FACILITY ENGINEERING

**The Scope and Role of Information Technology
in Construction**

**Der Einsatz und die Rolle der Informations-
technologie im Bauwesen**

By

Martin Fischer and John Kunz

Translation

Manfred Breit

CIFE Technical Report #156

FEBRUARY 2004

STANFORD UNIVERSITY

COPYRIGHT © 2004 BY
Center for Integrated Facility Engineering

If you would like to contact the authors, please write to:

*c/o CIFE, Civil and Environmental Engineering Dept.,
Stanford University Terman Engineering Center
Mail Code: 4020
Stanford, CA 94305-4020*

DER EINSATZ UND DIE ROLLE DER INFORMATIONSTECHNOLOGIE IM BAUWESEN

Martin FISCHER¹ and John KUNZ²

Übersetzung: Manfred BREIT³

¹Associate Member of ASCE, Ph.D., Assoc. Professor, Dept. of Civil and Env. Eng., Stanford Univ., and Director,
Center for Integrated Facility Engineering
(Terman Eng. Ctr., 380 Panama Mall, Stanford, CA 94305-4020, USA)
E-mail:fischer@stanford.edu

²Ph.D., Sr. Research Scientist, Dept. of Civil and Env. Eng., Stanford Univ.
and Executive Director, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE)
(CIFE, Building 550, 416 Escondido Mall, Stanford, CA 94305-4020)
E-mail:kunz@stanford.edu

1. DERZEIT VORHERRSCHENDER EINSATZ UND ROLLE DER INFORMATIONSTECHNOLOGIE

Zu Beginn skizzieren wir den aktuellen Gebrauch der Informationstechnologie (IT) im Bauwesen. Die letzten zwanzig Jahre waren gekennzeichnet sowohl durch dramatische Verbesserungen der IT als auch durch ihre rasch zunehmende, weit verbreitete Anwendung zur Beschreibung und Dokumentation der Arbeiten der vielen Disziplinen, die an Bauprojekten beteiligt sind. Heute werden praktisch alle Projektinformationen in Softwaretools eingegeben oder durch Computerprogramme generiert. Diese Informationen werden in vielen verschiedenen Formaten repräsentiert, so wie sie von den verschiedenen am Bau beteiligten Disziplinen gebraucht werden. Die angewendeten Softwaretools sind entweder allgemeine Programme wie z.B. Tabellenkalkulations- oder Textverarbeitungssoftware oder disziplinspezifische Anwendungen wie CAD Programme oder Kalkulationssoftware. Wie in Bild 1 gezeigt, umfassen die gebräuchlichen Formate um Informationen im Bauwesen darzustellen, Textdokumente, 2D und 3D Zeichnungen, Projektpläne als Balkendiagramme oder in anderen Formaten, verschiedene Diagramme, Tabellen etc. Für die meisten Entscheidungen in Bauprojekten müssen die Architekten und die Ingenieure der verschiedenen Fachrichtungen ihre Informationen mit den andern Mitgliedern des Projektteams austauschen und abstimmen, wie jene, die in dem Foto einer typischen Bausitzung (Bild 1) dargestellt sind (Architekt, Projektmanager, Planer und Kalkulator und ein Koordinator für die Haustechnik (Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär- und Elektrotechnik). Der Zweck der gezeigten Bausitzung war die detaillierte Konstruktion, die Baumethoden, die Kosten und die Planung für ein Bürogebäude abzustimmen und zu koordinieren. In dieser Sitzung formten sich alle Beteiligten je ein Bild des aktuellen Standes des Projekts und Visionen von den künftigen Situationen in ihren Köpfen auf der Grundlage der je eigenen Interpretationen der Dokumente der anderen. Diese Interpretationen gestalteten die Basis für die Diskussionen über das wohl am besten geeignete Design des Gebäudes und seiner Teile, wann, wie und durch wen es gebaut werden sollte, wie lang das gesamte Projekt

³ Dr. Eng., Vice Head, Institute 4D-Technologies and DataSpaces (i4Ds), University of Applied Sciences, Northwestern Switzerland, School of Engineering, Klosterzelgstrasse 2, CH-5210 Windisch, Switzerland, manfred.breit@fnw.ch

oder ein bestimmter Projektabschnitt dauern würde, wie viel es kosten wird, etc.

Auf diese Weise fand ein grosser Teil der Planung und Koordination hauptsächlich in den Köpfen der Beteiligten statt und war nicht durch IT unterstützt. Nach unserer Erfahrung ist dies der typische Gebrauch von IT in Bauprojekten. Weil die Entscheidungen meistens auf menschlichen und personellen Interpretationen von Informationen beruhen, die von den vielen Ingenieuren verschiedener Disziplinen generiert werden, sind der Entscheidungsprozess und die daraus resultierenden Tätigkeiten und Ergebnisse nicht konsistent und nicht wiederholbar von Sitzung zu Sitzung und von Projekt zu Projekt. Es ist daher schwierig die Ergebnisse eines laufenden Entwurfs- und Konstruktionsprozesses vorauszusagen und die IT trägt wenig zur Verbesserung der Zuverlässigkeit solcher Voraussagen bei. Weil die meisten Diskussionen und Entscheidungen den Input von Fachleuten verschiedener Disziplinen benötigen, ist es natürlich von grundlegender Bedeutung, dass die Informationen in den Dokumenten der verschiedenen Spezialisten auf den gleichen Informationen beruhen und dass diese effektiv koordiniert und kommuniziert wird. Die Koordination und Integration von Informationen zwischen den verschiedenen Fachbereichen und über die verschiedenen Projektphasen hinweg ist mit dem Anwachsen der Menge der elektronisch erzeugten Informationen, die jede Disziplin erzeugte zunehmend schwieriger und teurer geworden.

In jedem Bauprojekt kommen verschiedene Spezialisten aus unterschiedlichen Fachbereichen zusammen um ein Projekt zu planen und voranzutreiben. Jede Fachperson dokumentiert ihre oder seine Arbeit mit verschiedenen IT-Systemen und -formaten, um die Informationen darzustellen, die für ihre Arbeiten notwendig sind.



Bild 1: In jedem Bauprojekt kommen Spezialisten aus unterschiedlichen Fachbereichen zusammen um ein Projekt zu planen und voranzutreiben. Jede Fachperson dokumentiert ihre oder seine Arbeit mit verschiedenen IT-Systemen und -formaten, um die Informationen darzustellen, die für ihre Arbeiten notwendig sind.

Am Center for Integrated Facility Engineering an der Stanford University arbeiten wir seit 1988 an Methoden und Verfahren zur Integration von Projektinformationen und zum Informationsaustausch über die Disziplinen und Projektphasen hinweg um effiziente Arbeitsprozesse zu gestalten und bessere Projektentscheidungen zu ermöglichen. Bezüglich der von den einzelnen Disziplinen heute benutzten Softwaretools und den zugrunde liegenden Methoden sind sicherlich Verbesserungen notwendig und möglich. Jedoch liegt unserer Meinung nach die Hauptchance zur Verbesserung des Entwurfs und der Konstruktion von

Bauwerken in den Schnittstellen zwischen den Disziplinen. Aus diesem Grunde konzentriert sich dieser Artikel auf die Rolle und den Anwendungsbereich der IT zur Unterstützung multidisziplinärer Planung und Koordination von Bauprojekten. Einer der Hauptherausforderungen und Chancen sowohl für den Einzelnen als auch für Firmen in absehbarer Zukunft liegt darin einen Weg zu finden, um in solchen integrativen Projektentwürfen und Konstruktionsprozessen partizipieren zu können.

2. BEISPIELE VON MULTI-DISZIPLINÄREN ENTWÜRFEN UND KOORDINATIONEN

Um die oben skizzierten Probleme zu illustrieren und die Rolle und den Anwendungsbereich der IT im Bauwesen zu umreißen, betrachten wir zwei Beispiele von multi-disziplinären Entwürfen und Koordinationen kürzlich durchgeführter Projekte.

(1) Renovation eines grossen Bürogebäudes

Ein grosser öffentlicher Bauherr musste kürzlich die Renovation eines seiner grössten Bürogebäude planen. Die verschiedenen Abteilungen des Bauherrn (z.B. die Immobilienabteilung, die Betriebsabteilung, die Personalabteilung, das Projektmanagement, die Gebäudeverwaltung) und das externe Designteam, welches sich aus verschiedenen Beratern (Architekten, verschiedene Ingenieure und Baumanager) zusammensetzte, überlegten sich verschiedene Optionen für die Renovation. In einer Variante wurden alle Benutzer des Bürogebäudes während der Renovation temporär ausgelagert. Dieses Vorgehen gab dem Designteam ein Maximum an Flexibilität und die Möglichkeit, den Grundriss, das Tragwerk, die Haustechnik etc. umzugestalten und der Konstruktion zu planen.

In einer weiteren Variante wurde geplant, dass nur die Hälfte der Benutzer in der ersten Phase ausgelagert werden sollten um Raum für die Renovation der ersten Gebäudehälfte zu schaffen. Nach erfolgter der Renovation des ersten Abschnittes sollten die Benutzer der zweiten Gebäudehälfte in den neu renovierten Bereich umziehen um so Platz zu schaffen für die Renovationen der zweiten Phase. Dieser Bereich sollte nach seiner Fertigstellung von den Benutzern belegt werden, die ursprünglich ausgelagert wurden. Dieser Plan brachte signifikante Einsparungen bei der Miete temporärer Büroräume und minimierte die Störungen durch Umzug und Renovation für einige Benutzer. Jedoch bedingte er die sorgfältige Koordination von Räumen und verschiedenen Systemen in zwei in sich abgeschlossenen Bereichen und die sorgfältige Planung und Koordination der Renovationsarbeiten mit den in den Büros verbleibenden Benutzern.

(2) Bau eines grossen Einkaufszentrums

Beim Bau eines grossen Einkaufszentrums, bei dem es infolge unvorhersehbarer Probleme mit dem Baugrund zu einer zweimonatigen Verzögerung gekommen war, bat die Investorin den Generalunternehmer (GU), einen Behelfsplan auszuarbeiten, der es ermöglichen sollte, dass das Projekt doch noch zum ursprünglich definierten Zeitpunkt fertig gestellt werden könnte. Zusammen mit seinen Subunternehmern überlegte sich der GU verschiedene Beschleunigungsoptionen und analysierte deren Anforderungen bezüglich Ressourcen und weiteren organisatorischen Bedürfnissen in Bezug auf ihren Einfluss auf die Zeitplanung und Kosten. Zusammen mit der Investorin und einigen Subunternehmern evaluierte der GU zudem verschiedene Möglichkeiten, Teile des Projektes umzuplanen um ein teilweises Eröffnen von Geschäften oder ein schnelleres Bauen zu ermöglichen.

(3) Möglichkeiten für die Unterstützung durch IT

Diese Beispiele illustrieren, dass viele Situationen und Entscheidungen im Bauwesen die Beteiligung von verschiedenen Parteien und die Abwägung zwischen Zielen, Plänen und organisatorischen Belangen unter Berücksichtigung von Kosten, Sicherheit und anderen Kriterien verlangen. In unseren Beispielen überleg-

ten sich die beteiligten Parteien viele der Abwägungen in ihren Köpfen auf der Basis einiger Computer erzeugter Beschreibungen von einigen Aspekten der Optionen, wie 2D und 3D Zeichnungen, Kostenschätzungen, Baupläne oder 4D Modelle. Jedoch praktisch alle Entscheidungen wurden ohne formale Voraussage bezüglich der zu erwartenden Leistungen und Beiträge der speziellen Option oder Variante hinsichtlich der vorgegebenen Entscheidungskriterien und Geschäftsziele getroffen.

Die kurzen Beispiele zeigen ausserdem die Herausforderungen, vor die jede Firma gestellt sieht in Bezug auf ihr Anlagevermögen. Um die Infrastruktur für ihr eigenes Geschäft bereitzustellen, muss jede Firma

- die Leistungen ihrer Anlagen und Betriebsmittel und deren zugehörige Organisationen und Prozesse im Blickfeld ihrer Geschäftsziele und der Zeitabhängigkeit *verstehen*
- Ingenieur- und Geschäftsverhalten *voraussagen*
- vorausgesagtes Verhalten hinsichtlich klar artikulierter Geschäftsziele *evaluieren*
- Bauprojekte und die Geschäfte so *managen*, dass messbare Geschäftsziele wie
 - Sicherheit,
 - Zeitplan,
 - Kosten,
 - erstellte Funktionalität und Qualität,
 - Nachhaltigkeit

maximal erreicht werden.

Wir schlagen daher vor, dass die prinzipielle Rolle und der Anwendungsbereich von IT im Bauwesen die Unterstützung von Vorhersagen zur erwarteten Leistung des Entwurfes von Projektzielen, -plänen und -organisationen bezüglich der Geschäftsziele der Projektbeteiligten (z.B. Investoren, Betreiber, Nutzer und Öffentlichkeit) sein soll.

3. VISION FÜR DIE ROLLE UND DEN EINSATZ VON IT IM BAUWESEN

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die künftige Rolle und den Einsatz von IT im Bauwesen und stellt integrierte POP (Produkt-, Organisations- und Prozess-) Modellierungen vor, die Unterstützung zu den oben ausgeführten Herausforderungen bieten. Virtual Design and Construction (VDC) = (virtuelles Entwerfen und Bauen) wird als eine Methode zum wirksameren Einsatz von IT zur Unterstützung von integriertem POP-Design (Bild 2) definiert. Der nachfolgende Absatz berichtet über den aktuellen Stand in VDC und skizziert ein paar wichtige Forschungsthemen.

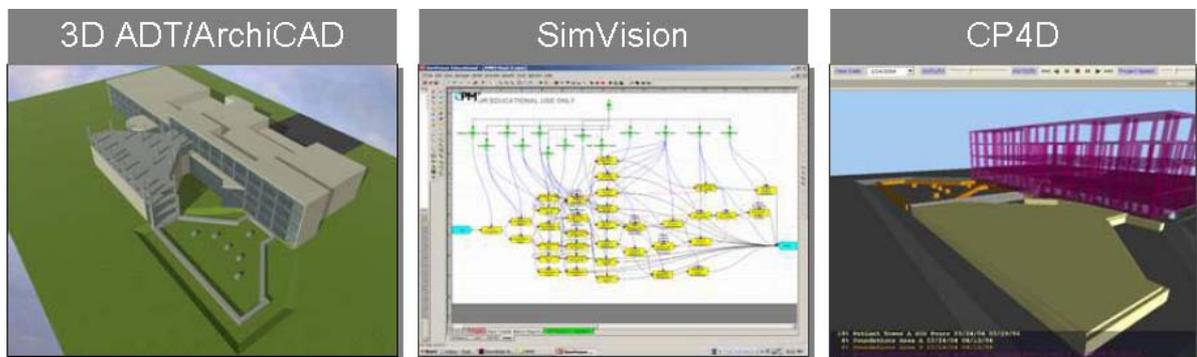


Bild 2: Produkt-, Organisations- und Prozessmodelle, erzeugt mit verschiedenen kommerziellen Programmen

(1) Rolle der Informationstechnologie

Um zu den o. g. Voraussagen zu kommen, werden Praktiker IT benutzen um die erwartete Leistung eines Gebäudeentwurfs, der Planung des Herstellungsprozesses (Entwurfs- und Bauplan) und der Planung der Organisation, die die Arbeiten ausführt zu simulieren, zu analysieren und zu evaluieren. Diese Simulationen, Analysen und Evaluationen sollten sich auf ein integriertes Modell beziehen, das den Entwurf des Gebäudes, der Organisation und des Prozesses beschreibt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollten derart visualisiert werden, dass die Ergebnisse klar zu Tage fördern, welche Vor- und Nachteile zwischen der Optimierung des Gebäudes, der Organisation und der Prozesse in Bezug auf eine einzelne Disziplin bestehen im Vergleich zum Gesamtprojekt hinsichtlich einer grossen Zahl von Kriterien, wie sie typisch sind für das Bauwesen. Die IT sollte zudem die Automatisierung des Inputs für die Simulation, Analyse und Evaluation unterstützen, sowie die Automatisierung der Simulationen, Analysen und Evaluationen selber, soweit wie möglich. Möglicherweise wird die IT künftig die Optimierung des Projektdesigns aus der Sicht von multiplen Disziplinen ermöglichen.

(2) Einsatz der Informationstechnologie

Wie in den beiden oben erwähnten kleinen Fallbeispielen illustriert, muss der Einsatz der IT multi-disziplinär erfolgen, d.h. die IT muss die Integration von Informationen und Perspektiven von Projektalternativen für viele Fachbereiche unterstützen. Sie muss zudem die Entwürfe des Produktes (Gebäude, Projektziel), der Projektorganisation, die den Entwurf und den Bau durchführt und des Prozesses (Bauplan) zur Ausführung des Projektes mit umfassen. Wir bezeichnen diesen umfassenden Anwendungsbereich als "integriertes POP Design": POP steht dabei für Produkt, Organisation und Prozess. Wie die Beispiele zeigen, sind bei vielen Entscheidungen Abwägungen zwischen Produkt-, Organisations- und Prozessdesign zu treffen. Unserer Meinung nach ist der Entwurf eines Projektes nicht abgeschlossen, bevor das Produkt, die Organisation und der Prozess gestaltet (designed) worden sind und die Interaktionen zwischen diesen drei Bereichen verstanden worden sind. Der Grund warum wir das Produkt, die Organisation und den Prozess zum Hauptanwendungsfeld für den Einsatz von IT im Bauwesen machen, liegt darin, dass die Projektbeteiligten (stakeholders) darüber entscheiden können, was zu bauen ist, wer es wie und wann bauen soll, d.h. die Produkt-, Organisations- und Prozessdesigns sind die unabhängigen Variablen des Projekts. Diese Entscheidungen führen dann zu einer spezifischen Leistung des integrativen POP Designs bezüglich der Kosten, Sicherheit und anderer Projektkriterien. Die Leistungsvorhersagen liefern den Massstab für die Evaluation der relativen und absoluten Qualitäten einer bestimmten Designvariante. Ein solches integratives POP Design erfordert die Modellierung von Systemen und Komponenten aus denen das Produkt (Bauwerk) besteht, der Projektbeteiligten, der Teams, der Arbeitsaufteilung und anderer organisatorischer Aspekte und der Aktivitäten die für den Entwurf, den Bau und den Betrieb notwendig sind. Die Aktivitäten liefern die hauptsächlichsten Verbindungen zwischen dem Produktentwurf und der Organisation, da jedes einzelne Element des Produktentwurfes zu einer oder mehreren Aktivitäten für ihr Design, Bau und Betrieb für und jeder Beteiligte oder jedes beteiligte Team in der Projektorganisation eine oder mehrere Aufgaben übernehmen muss.

(3) Definition Virtuelles Entwerfen und Bauen (Virtual Design and Construction)

Heute erfolgt ein integriertes POP Design überwiegend in den Köpfen der Projektbeteiligten – wir erwarten allerdings, dass es künftig zunehmend mit IT ausgeführt wird. Das Modellieren, Simulieren, Analysieren, Visualisieren und Evaluieren des Leistungsverhaltens des Produktes, der Organisation und des Prozesses mit IT gibt eine Vorstellung davon, wie sich das reale Projekt verhalten wird. Wir definieren Virtual Design and Construction (VDC) als den Gebrauch von multi-disziplinären Leistungsverhaltensmodellen von Entwurfs- und Bauprojekten, die das Produkt (d.h. Bauwerk), die Organisation der Entwurfs-, Bau- und Betriebsteams und die Arbeitsprozesse umfasst um die expliziten und öffentlichen Geschäftsziele zu unter-

stützen.

Indem POP Projektmodelle frühzeitig und in genügend vielen Varianten erstellt werden, kann Geld und Zeit gespart werden. VDC unterstützt die Beschreibung, Erläuterung, Evaluation, Leistungsvoraussage, Alternativen, Verhandlungen und Entscheidungen bezüglich der Projektziele, -organisation und -planung mit virtuellen (Computer basierten) Methoden. Der Vorteil des Computer basierten POP Designs liegt in der Anwendung von formalen (Computer interpretierbaren) Produkt-, Prozess- und Organisationsmodellen, dies ist wichtig um die Modelle und die zugehörigen Voraussagen und Entscheidungen konsistent im Projekt und von Projekt zu Projekt zu machen. Solche konsistenten Designprozesse werden es wahrscheinlich ermöglichen, dass die expliziten und öffentlichen Projektziele in objektiver Weise beschrieben werden können. Virtuelle Methoden sind ebenfalls wichtig, weil sie die schnelle Generierung und Visualisierungen von einzelnen Aspekten des POP Designs in verschiedenen disziplinspezifischen Perspektiven (multi-view) für den inter-disziplinären Entwurfsprozess der Prozessbeteiligten unterstützen. Die Visualisierung ist notwendig um die Disziplin spezifischen Aspekte der Projekt POP Modelle effektiv zwischen den Entscheidungsträgern des Projektes zu kommunizieren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass VDC einen integrierenden theoretischen Rahmen für die Abschätzung von Ingenieurverhalten und das systematische Management vom Projekten und Geschäften bereitstellt, welche Leistungsvorhersagen und beobachtete Kennzahlen nutzt um festzustellen ob messbare Projektziele erreicht werden. Die theoretische Basis von VDC umfasst:

- *Ingenieur-Modellierungsmethoden* für Produkt, Organisation und Prozess
- *Modell basierte Analysemethoden* inklusive, Planung, Kosten, 4D Modelle, Prozessrisiken, etc.
- *Visualisierungsmethoden*
- *Geschäftsmetriken (Messsystem für Geschäftsziele), strategisches Management*
- *wirtschaftliche Einflüsse* (d.h. Modelle mit Kosten und den Wert von Investitionen)

Wir kennen bisher kein Projekt, welches mit integrierten Produkt-, Organisations- und Prozessmodellen, entworfen, geplant, ausgeführt und betrieben wurde, dass ausreichend genug detailliert war um die erforderlichen Informationen bereitzustellen für die Entscheidungsträger der beteiligten Disziplinen über alle Projektphasen hinweg. Jedoch findet man Aspekte von POP Modellierungen in vielen Projekten. Die relevantesten Technologien sind 3D und 4D Modellierungen, Building Information Modeling (BIM) und Organisations-Prozess-Modellierungen und Simulation. Die folgenden Abschnitte behandeln die Rolle und den Einsatz dieser Technologien, wie er in der heutigen Praxis beobachtet werden kann.

4. PRODUKT UND PROZESS MODELLIERUNGEN

3D Modellierungen sind die vorherrschende Methode um die Informationen darzustellen, die sich auf den physikalischen Geltungsbereich des Projektes beziehen. Sie werden zunehmend bei vielen verschiedenen Projekttypen eingesetzt. Die Visualisierungs- und Datenmodellierungsfunktionalitäten sowie die Benutzeroberflächen werden ständig erweitert. Da die 3D Modellierungstechnologie gut bekannt ist, wird sie in diesem Artikel nicht weiter ausgeführt. Wir konzentrieren uns auf die 4D Modellierung, die die räumlichen und zeitlichen Aspekte von Projekten integriert.

(1) Das 4D Konzept

4D Modelle verbinden Komponenten aus 3D CAD Modellen mit den Aktivitäten aus Entwurfs-, Beschaffungs- und Bauplänen. Das resultierende 4D Modell eines Projektes ermöglicht es den Entscheidungsträgern des Projektes, sich die geplante Konstruktion eines Gebäudes als animiertes 3D Modell und seine Veränderungen im Verlauf der Zeit auf dem Computerbildschirm anzeigen zu lassen um den geplanten und aktuellen Status zu überprüfen für einen beliebigen Projektzeitraum, sei es ein Tag, eine Woche oder ein Monat.

(2) Die Vorteile von 4D Modellierungen

4D Modelle ermöglichen es einem divers zusammengesetzten Team aus Projektteilnehmern die Projektziele zu verstehen und zu kommentieren und auf die korrespondierenden Pläne proaktiv und zeitgerecht zu reagieren. Sie ermöglichen die Exploration und die Verbesserung der Projektausführungsstrategie, fördern Verbesserungen der Konstruierbarkeit mit der zugehörigen Steigerung der Produktivität auf der Baustelle und ermöglicht das schnelle Erkennen und Beheben von Zeit- und Raumkonflikten. 4D CAD Modelle haben sich als besonders hilfreich in Projekten erwiesen, an denen viele Entscheidungsträger beteiligt waren, in Renovationsprojekten unter Weiterführung des Betriebes und in Projekten mit Baustellen in beengten und verkehrsreichen städtischen Verhältnissen.

Die Firma Walt Disney Imagineering zum Beispiel, setzte 4D Modelle ein um den Bau des "Paradise Pier" Bauabschnittes des von Disney kürzlich eröffneten California Adventure Park in Anaheim, CA. zu planen. Enge Baustellenverhältnisse, ein auf alle Fälle einzuhaltender Fertigungsstellungstermin und viele bauferne Entscheidungsträger waren ideale Voraussetzungen für den Einsatz des 4D Projektmanagement. Das 4D Modell ermöglichte es dem Projekt Team bessere Anforderungsspezifikationen und Entwurfszeichnungen für den Bau des Projektes zu erstellen. Dies hatte weniger ungeplante Änderungen und ein kleineres Bauteam zur Folge und ermöglichte die komfortable und frühzeitige Fertigstellung des Projektabschnittes vor dem festgelegten Termin. Bild 3 zeigt verschiedenen Momentaufnahmen von dem 4D Modell des Projektes.

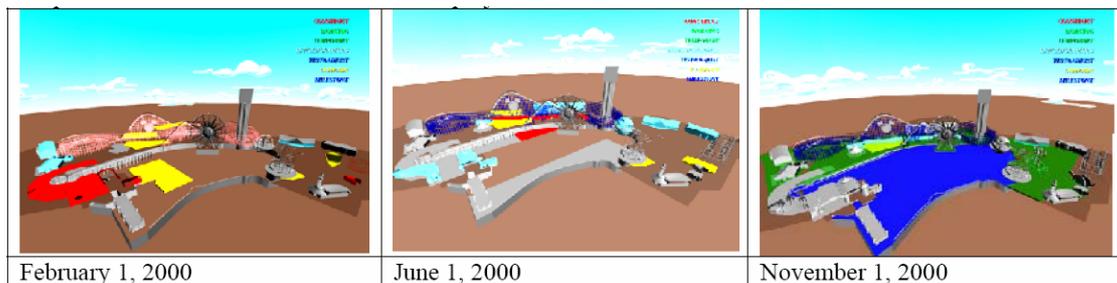


Bild 3: 4D Modell Momentaufnahmen

Durch die verbesserte Projektkommunikation haben die 4D Modelle die ungeplanten Änderungsanträge um 40% bis 90% reduziert; sie verringerten die Nach- und Ausbesserungsarbeiten, vergrößerten die Produktivität und verbesserten das Vertrauen in die Bauplanung und in das Projektmanagementteam. Dieses Beispiel für die Anwendung von 4D Modellen zeigte zudem, dass ein leicht zu lernendes und leicht zu gebrauchendes 4D Programm, welches es dem Projektteam erlaubt das 4D Modell mit wenig Aufwand zu aktualisieren und zu modifizieren und mit dem es einfach ist alternative Pläne zu explorieren, grundlegend ist für die breite Anwendung von 4D Modellen in Projekten.

(3) Der Schreibtisch des Projektmanagers: die 4D Benutzeroberfläche

Eine interaktive, leicht zu lernende und leicht zu gebrauchende 4D Modellierungssoftware wurde in Zusammenarbeit von Walt Disney Imagineering Research and Development und dem Center for Integrated Facility Engineering (<http://cife.stanford.edu>) an der Stanford University entwickelt. Bild 4 zeigt die Benutzeroberfläche der 4D Software, die unter dem Windows Betriebssystem läuft. Die Benutzeroberfläche ermöglicht es dem 4D Modellierer (typischerweise dem Projektplaner) alle Gebäudebereiche und Planungsinformation für eine 4D Modell zu organisieren, zu verbinden und zu visualisieren. Die hierarchische Organisation der Projektinformationen erleichtert es dem Benutzer das 4D Modell im Verlaufe des Projektes zu aktualisieren, wenn weitere 3D und Plandetails verfügbar werden. Via "drag and drop" Funktionalität

können die Komponenten und die Aktivitäten einfach miteinander verknüpft werden. Das erstellte 4D Modell macht es für jeden am Projekt Interessierten einfach, die Bauplanung schnell zu verstehen und zu kontrollieren.

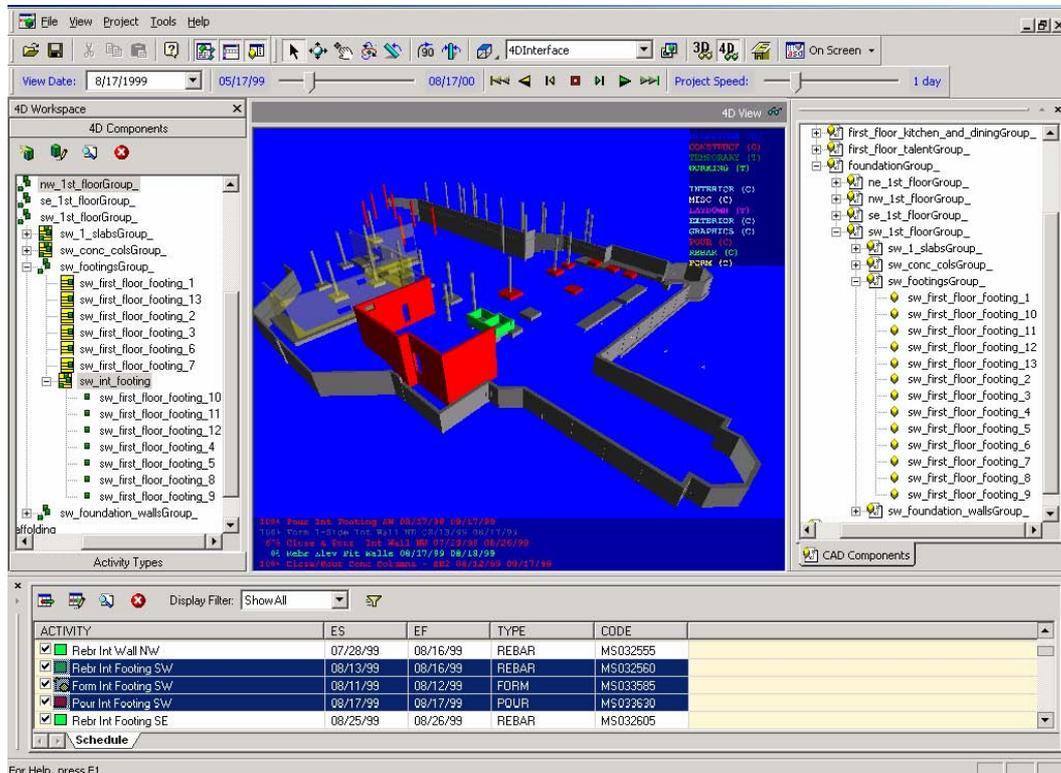


Bild 4: 4D Modellierung, Benutzeroberfläche, kommerziell erhältlich bei Common Point, Inc. (<http://www.commonpointinc.com>).

Der obere Teil der Benutzeroberfläche enthält die Zeit- und Raumsteuerelemente um das 3D Modell im mittleren Fenster zu orientieren und zu positionieren und um sich durch die Zeit auf verschiedene Weise (durch Auswahl eines Datums, durch Bewegung des Zeitregler oder durch den Gebrauch videoähnlichen Steuerelemente) zu bewegen. Der Benutzer kann zudem Geschwindigkeiten (Intervalle) für die Anzeige des Modells auswählen. Hier wurde das Intervall auf einen Tag gesetzt, so dass das 4D Anzeigefenster alle Aktivitäten zeigt, die auf die verschiedenen 3D Komponenten von Tag zu Tag wirken. Das CAD Komponentenfenster zeigt die hierarchische Organisation der 3D Komponenten aus denen das Bauwerk besteht. Diese 3D Modellorganisation wird importiert aus einer "Virtual Reality Markup Language (VRML)"-Datei, die durch irgendeine 3D Modellierungssoftware erzeugt wurde. Das Planungsfenster (Schedule) zeigt die Aktivitäten, die gebraucht werden um des Projekt zu bauen. Das farbige Kästchen neben den Aktivitätennamen zeigt die Farbe an mit der ein bestimmter Typ von Aktivität im 4D Fenster angezeigt wird. Die Aktivitäten und ihre zugeordneten Felder werden von Projektplanungsprogrammen wie Microsoft Projekt oder Primavera's Project Planner importiert. Das 4D Komponentenfenster zeigt die 4D Komponentenhierarchie. Eine 4D Komponente besteht aus einer oder mehreren CAD Komponenten (welche aus dem CAD Komponentenfenster kopiert wurden), die mit einer oder mehreren Aktivitäten des Bauplans verknüpft wird. Das 3D Modell kann in beliebiger Weise reorganisiert werden, so wie es für die Planung notwendig erscheint. Zum Beispiel hat der 4D Modellierer verschiedene Fundamente des CAD Komponentenfensters zu einer 4D Komponente mit dem Namen "sw_int_footing" (die im 4D Komponentenfenster markiert ist) gruppiert. Im Planfenster (Schedule) sind alle Aktivitäten, die gebraucht werden um die Kollektion von Fundamenten mit dem Namen "sw_int_footing" zu bauen markiert (rebar = bewehren, form = einschalen, pour = betonie-

ren). Das 4D Fenster zeigt das Betonieren der Fundamente für den 17. August 1999 in rot an und die anderen geplanten Aktivitäten des Tages in den für sie gewählten Farben.

(4) Einsatz von 4D Modellierungen

Bei jedem Projekt laufen in den Köpfen der Projektmanager, Projektleiter und Planer mentale 4D Filme ab, wenn sie über den Bau ihrer Projekte nachdenken. Diese Fachleute finden es einfach 4D Modelle zu verstehen und zu gebrauchen und sie miteinander in Beziehung zu setzen. Die Anwendung von 4D Modellen war speziell dann erfolgreich, wenn gezielte Fragen zur Konstruierbarkeit eines Entwurfes und dessen zugeordneten Planes gestellt wurden (z.B. In welcher Abfolge soll die Achterbahn für das Disney Projekt gebaut werden?). Bauherren und Bauunternehmer waren in der Lage 3D und 4D Modelle innerhalb weniger Dutzende von Stunden zu erstellen, auf deren Grundlage solche Fragen geklärt werden konnten. Es ist also wirtschaftlich und nutzbringend die Entscheidungsfindung von Projektteams mit 4D Modellierungen zu unterstützen.

4D Modelle wurden in (frühen) Planungsphasen von Projekten (oft bevor der eigentliche Entwurf des Bauwerkes gestartet wurde oder in den frühen Phasen des Projektdesigns) zu folgenden Zwecken erstellt:

- 4D Modelle für mehrjährige, mehrphasige Campus Umbau- und Renovationsprojekte um die Sequenz der individuellen Bauprojekte im best möglicher Weise zu gliedern damit der Betrieb der Universität während der Umbauarbeiten aufrecht erhalten werden konnte
- 4D Modell für den Umbau von Gebäuden die während der laufenden Arbeiten weiterhin genutzt werden um den Input der betroffenen Nutzer zu sammeln um die Umbauarbeiten mit der Nutzung der Gebäude zu synchronisieren
- 4D Modelle für Bauphasen von Projekten mit schwierigen Termin- und Platzbedingungen zur Abklärung der Konstruierbarkeit als früher Input für das Design
- 4D Modelle für den erwarteten (vorausgesagten) Abbau (Abnutzung, Werteverminderung) von einer Anzahl von Gebäuden über ihren Lebenszyklus um das Niveau des erforderlichen Serviceaufwandes anzupassen bezüglich der Geschäftsinteressen des Eigentümers
- 4D Modelle zur Simulation von Betriebsprozeduren in Industrieanlagen um einen frühen Input seitens des Betriebsteams bezüglich des Designs der Industrieanlagen zu ermöglichen

Während des Entwurfs der Detailkonstruktion oder in den frühen Bauphasen wurden 4D Modelle wie folgt genutzt:

- 4D Modelle zur detaillierten Planung der Bauarbeiten um die Arbeiten der verschiedenen Subunternehmungen zu koordinieren und um sie produktiver zu machen
- 4D Modelle für die Simulation von Betriebsabläufe um die Prozeduren zu verfeinern und zu optimieren und um weiteren Input seitens der Betriebe für das Design der Anlagen aufrecht zu erhalten

4D Modelle, die während der Phase der Bauübergabe und Inbetriebnahme erstellt wurden, hatten ihren Fokus auf folgenden Fragestellungen:

- 4D Modelle von Betriebsabläufen um das Personal zu schulen und um die Startphase produktiver zu machen
- 4D Modelle über die Betriebsdauer von Bauwerken um künftige Erweiterungen, Unterhaltsarbeiten und –budgets abzustimmen in Bezug auf die Geschäftsbedürfnisse der Bauwerksbetreiber oder -besitzer

Die nachfolgenden Beispiele illustrieren die Anwendung von 3D und 4D Modellen

(5) Beispiele der Anwendung von 4D Modellierungen

a) Dem Bauherrn bei der Visualisierung der Zukunft helfen

Die Bauunternehmung DPR Construction hat 4D Modellierungen eingesetzt und dadurch die Aufträge für den Bau von zwei Haupterweiterungen und einen Neubau von Krankenhäusern gewonnen. Ein 4D Modell verbindet das 3D Modell eines Projektes mit dem Bauplan und generiert dadurch ein 3D Modell für jedes gewünschte Zeitintervall (z.B. für jeden Tag oder jede Woche eines Projektes). Ein 4D Modell kann als kontinuierlicher Film der Schritte betrachtet werden, die nötig sind um das Projekt auszuführen, oder als Momentaufnahmen von ausgewählten Zeitintervallen. Mit 4D Modellen können rasch verschiedene Design- und Planungsalternativen untersucht werden. Die Projektmanager von DPR verwendeten 4D Modelle um den Verwaltern des Spitals zu demonstrieren, dass sie den besten Plan hatten um einen 24 Stunden Betrieb über 7 Tage pro Woche von allen wichtiger Pflegeeinrichtungen während der Bauzeit aufrechterhalten zu können. In allen drei Projekten, die DPR gewonnen hatten, genehmigte die Spitaladministration einen speziellen Budgetposten für die 4D Modellierungen, nach dem sie die 4D Modelle während der Bauauschreibung gesehen hatten. Die Verwaltung hat dann auch in der Folge ihre 4D Modelle dazu genutzt die Ärzte und das Pflegepersonal darüber zu unterrichten, was während der verschiedenen Bauphasen passieren wird. Die 4D Modelle von DPR vergrößerten nach und nach auch das Verständnis des Baupersonals hinsichtlich der Betriebsbedürfnisse des Spitals, so dass ein Baukonzept und ein Bauplan entwickelt werden konnte, der Risiken für den Spitalbetrieb minimierte. Bei einem Spitalcampus, warnte das 4D Modell die Spitaladministration, dass die Anflugroute des Rettungshubschraubers während der Errichtung der Stahlkonstruktion geändert werden musste (Bild 5).

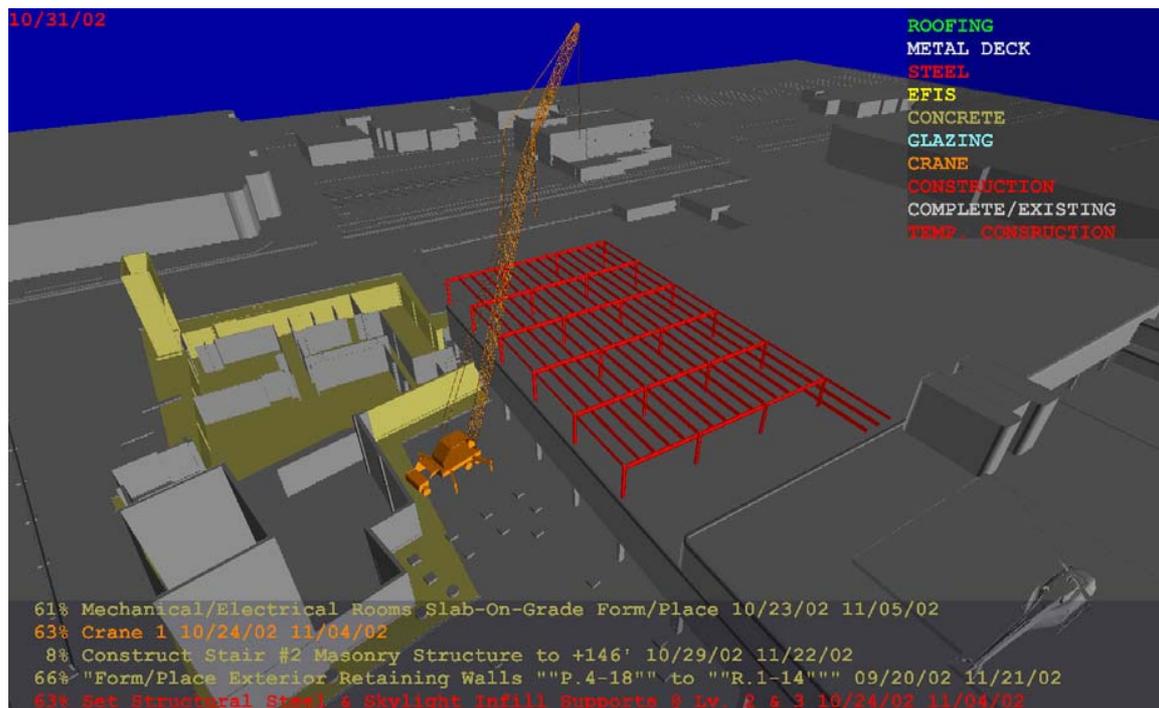
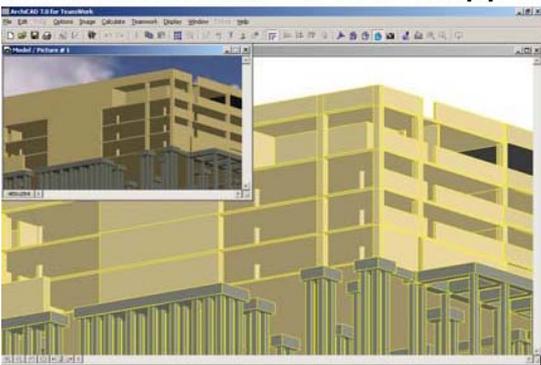


Bild 5: Frühes Erkennen der Interferenz zwischen dem Autokran der für den Bau der Stahlkonstruktion benötigt wurde und der Anflugroute des Rettungshubschraubers, ermöglichte es dem Banner Health Good Samaritan Hospital in Phoenix, AZ, rechtzeitig die Erlaubnis für eine modifizierte Anflugroute bei der Luftfahrtbehörde Federal Aviation Administration (FAA) der Vereinigten Staaten einzuholen. (Picture courtesy of DPR Construction)

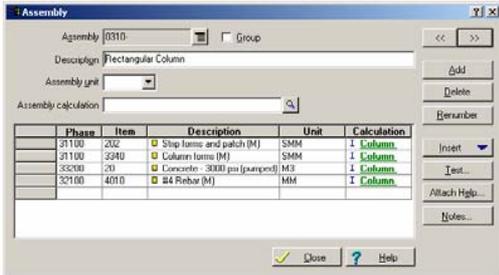
b) Integration der Kosten in einem 3D Modell

Planer und Bauunternehmer beginnen den Vorteil der automatischen Mengenermittlung, welche von einigen 3D CAD Programmen angeboten wird, für die Kostschätzung zu nutzen. 3D CAD Werkzeuge bieten schon seit einiger Zeit die Möglichkeit der Mengenermittlung und Kostenschätzungsprogramme wie Precision Estimating von Timberline ermöglichen den Import dieser Mengen als Teil der Mengendefinition für die Kostenschätzung (Bild 6). Werden Kosten so aufbereitet, dass sie zu den 3D Design Mengenangaben passen wird dies Ingenieuren erlauben, sehr viel schneller als es heute möglich ist ihre 3D Daten für die Ermittlung von Kostenschätzungen bereitzustellen. Webcor Builders in San Mateo, CA, experimentierten zum Beispiel mit dem Gebrauch von 3D Modellen für die automatische Mengenermittlung und fanden heraus, dass Kalkulatoren indem sie ein 3D Modell (mit Revit von Autodesk) erzeugten und danach die Mengen automatisch ermittelten ihre Arbeit in der Hälfte der Zeit erledigen konnten im Vergleich zu der gleichen Mengenermittlung auf der Basis von 2D Zeichnungen (Bedrick 2003). Eine solche Modell basierte Mengenermittlung hat zum bereits angesprochenen Zeitgewinn noch die Vorteile, dass sich die Varianz in den ermittelten Mengen von verschiedenen Kalkulatoren verringerte und dass sich erneute Kostenschätzungen sehr viel schneller durchführen lassen, wenn das Design modifiziert wird.

Link assemblies in CAD Mapper



Create assemblies in PE



Phase	Item	Description	Unit	Calculation
31100	202	Strip forms and patch (M)	SMM	1 Column
31100	3340	Columns forms (M)	SMM	1 Column
32000	201	Concrete - 3000 psi (pumped) (M)	MC	1 Column
32100	4010	#4 Rebar (M)	MM	1 Column

Create estimate in CAD Integrator



Assembly	Phase	Description	Takeoff Quantity	Labor Cost/Unit	Labor Price	Labor Amount	Material Price	Material Amount	Total Cost/Unit	Total Amount				
0310	Rectangular Columns	31100 Strip forms and patch (M)	5,250,000.00	SMM	0.62	\$F	35	0.03	\$F	2	\$MM	37		
		31100 Columns forms (M)	5,250,000.00	SMM	4.10	\$F	243	0.55	\$F	33	\$MM	276		
		32000 Concrete - 3000 psi (pumped) (M)	0.35	MC	45.77	MC	35.00	16	60.00	FCV	30	124.23	MC	48
		32100 #4 Rebar (M)	68,897.64	MM	0.00	MM	1.04	4.2	235	0.96	4.2	217	0.01	MM

Bild 6: Überblick über Verbindung von 3D Modell und Kostschätzung. Das 3D Model liefert die Materialliste und die Mengenermittlung eines 3D Designs.

c) Gleichzeitiges detailliertes Design für just-in-time Fabrikation und Montage

Beim Terminal 5 Projekt auf dem Londoner Heathrow Airport konnten für die Betonierarbeiten aufgrund extrem beengter Lagerungsmöglichkeiten lediglich nur die Materialien für einen dreitägigen Arbeitsvorrat gelagert werden. Damit war der typische Zyklus vom detaillierten Entwurf der Bewehrung und der Konstruktion, Vorlage, Prüfung und Genehmigung, der mehrere Wochen dauert, kein geeignetes Vorgehen. Der Unternehmer musste daher sicherstellen, dass das detaillierte Design sehr schnell ausgeführt werden konnte und dass es extrem gut koordiniert war, so dass nicht nur eine pünktliche Bestellung, Fertigung und Lieferung der Bewehrung sichergestellt werden konnte, sondern gleichzeitig auch die Vorteile der Vorfabrikation so weit wie möglich ausgenutzt wurden. Der Unternehmer Laing O'Rourke, London, UK in Zusammenarbeit mit der Beratungsfirma Strategic Project Solutions, San Francisco, CA, setzten detaillierte parametrische 3D Modelle ein (die mit der Software I-deas der Firma EDS, Plano, TX erstellt wurden), um das integrierte Designteam für die Detailkonstruktionen zu unterstützen. Diese Vorgehensweise wurde z.B. angewendet für den Entwurf und die Bemessung der Bewehrung der Startkammern für die Züge der Heathrow Express Erweiterung. Eine Bohrmaschine wird einen neuen Tunnel, der mit dem Vortriebsverfahren "cut-and-cover" erstellt wird mit einem bestehenden Tunnel unter dem Flughafen verbinden. Dabei wird beim Tunnelaue begonnen. Es war besonders schwierig für die Bewehrung am Tunnelaue geeignete Vorfabrikationskonstruktionen zu entwerfen. Daher wurde ein interdisziplinäres Team gebildet in dem sowohl der entwerfende Ingenieur als auch die ausführenden Bauarbeiter integriert wurden um Lösungen zu entwickeln, die alle Beteiligten befriedigten. Das 3D Modell des Prototyps wurde sowohl für die Entwurfskoordination in diesem komplizierten Bereich als auch für die Zeichnungserstellung der Details und die Materialbeschaffung genutzt. Es wurde eine integrierte Arbeitsgruppe geschaffen, die sich auf eine Lösung einigte und dann innerhalb von zwei Wochen ein Modell erstellte. Das Team bestand aus einem leitenden Ingenieur der Bauunternehmung (Laing O'Rourke), einem Polier (Laing O'Rourke), einem Massivbaukonstrukteur der Firma Mott MacDonald, Dublin, Ireland für die Detailkonstruktion der Bewehrung (der auch die Verantwortung für die strukturelle Integrität der Konstruktion überwachte und gleichzeitig die Konzepte für Montage und Vorfertigung entwickelte) und ein Bauingenieur der Firma Laing O'Rourke, der das I-deas System betreute. Innerhalb von fünf Arbeitstagen erstellten der Polier und der Bauingenieur die virtuellen 3D Prototypen gemeinsam am Computer (Bild 7). Diese 3D Modellierungsarbeiten wurden wirksam ergänzt mit wenigen ein- bis zweistündigen Sitzungen des gesamten Teams, bei denen das Modell an die Wand projiziert wurde und die Prototypen gemeinsam und gleichzeitig abgestimmt und weiterentwickelt wurden. Dieses Vorgehen reduzierte die Zahl der benötigten Review-Sitzungen auf ein Minimum und stellte zu dem sicher, dass die Konstruktionsdetails gut koordiniert wurden und die Vorfabrikationsmöglichkeiten, die Produktivität auf der Baustelle und die Sicherheit maximiert wurden. Die Verfügbarkeit von Informationen und Fachleuten waren die Hauptengpässe in diesem Prozess. Das Erstellen der Modelle hingegen erfolgte sehr schnell.

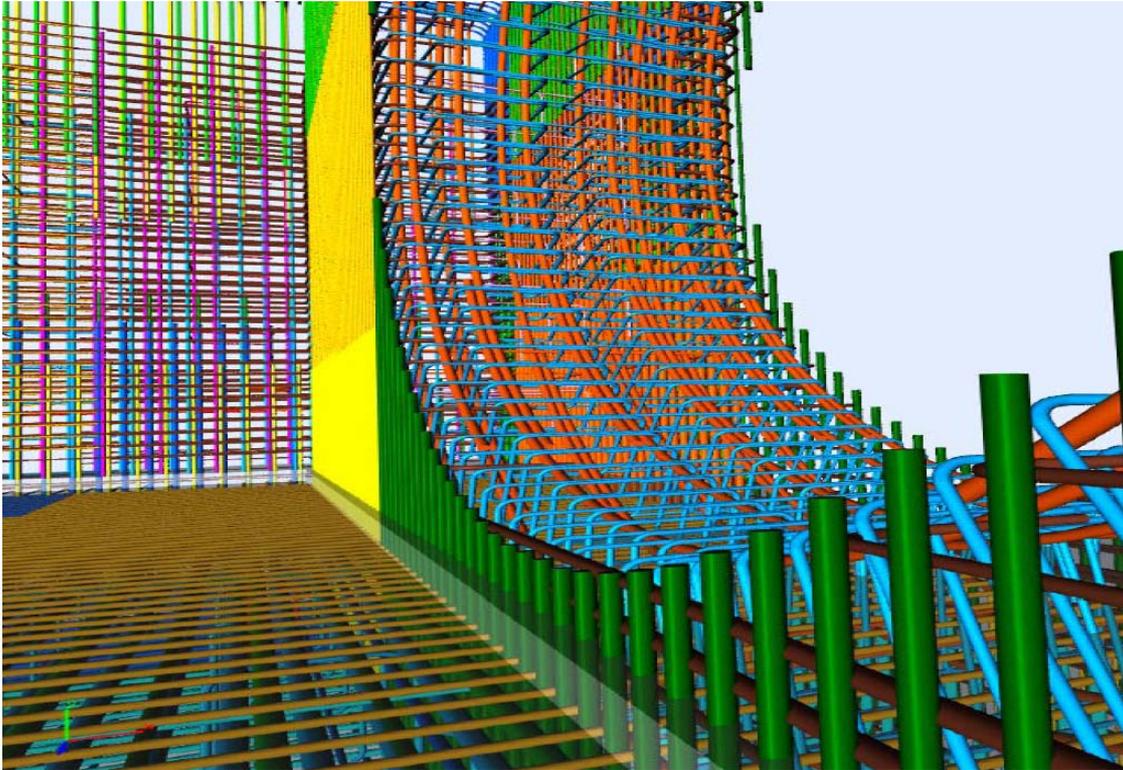


Bild 7: Integrierter Entwurf der Bewehrungskonstruktion mit 3D Modellen (Photo courtesy of Strategic Project Solutions)

d) Koordination der Bauabläufe

Für die Bauphase, benutzten Generalunternehmer 4D Modelle um den Arbeitsfluss ihrer Subunternehmer und die Baustellenlogistik zu koordinieren und um zu frühzeitig zu kontrollieren ob ihre Vorstellungen bezüglich der grundsätzlichen Projektabläufe korrekt sind. Die Firma M.A. Mortenson brauchte 4D Modelle für den Bau der Walt Disney Concert Hall um den Bauplan zu verbessern und für die Kommunikation der Projektbereiche und -pläne mit ihren Subunternehmern und anderen Entscheidungsträgern um deren Input möglichst rechtzeitig zu bekommen. Der Projektleiter Greg Knutson schätzte, dass er für jede Stunde die er am Projektplan arbeitete, noch einmal sechs Stunden investieren musste um ihn zu kommunizieren. Die 4D Modelle halfen ihm, diesen Aufwand zu reduzieren und gleichzeitig konnte er den Feedback und die aktive Beteiligung der Subunternehmer erhöhen. Die Firma Mortenson erstellte die meisten der 4D Modelle vor der Bauausführung und aktualisierte die Modelle im monatlichen Rhythmus während des ersten Jahres. Zur Arbeitsvorbereitung wurden 4D Modelle aktiv in Koordinationssitzungen mit den Subunternehmern genutzt um die Arbeitssequenzen und zugehörigen logistischen Belange abzustimmen und um gemeinsam die Konstruierbarkeit zu verbessern. Während der Bauarbeiten wurden 4D Modelle einmal pro Monat in Koordinationssitzungen mit den Subunternehmern eingesetzt zur Vorschau des Umfangs der Arbeiten für die nächsten 90 Tage. Indem die Kräne im 4D Modell integriert wurden, konnten Mortenson und die Subunternehmer die Plazierungsmöglichkeiten der Kräne studieren und so die Zahl der Kranbewegungen reduzieren und sicherstellen, dass die Kräne alle Bereiche erreichen konnten für die Arbeiten, die der aktuelle Projektplan benötigte. Es war in diesem Projekt besonders wichtig, den richtigen Kraneinsatz zu finden, war doch der Zugriff auf die Kräne in vielen Bereichen des Projektes zeitlich sehr eingeschränkt und dies bedeutete für die Subunternehmer dass sie rechtzeitig ihre Lifte für diese speziellen Zeiträume zu organisieren hatten. Wegen der Komplexität des Projektes und des Projektplans waren 4D Modelle auch sehr hilfreich um die verschiedenen Behörden davon zu Überzeugen, dass die Firma Mortenson einen guten

Projektplan hatte. Dies war besonders wichtig, als es darum ging die Genehmigung vom Stadtbezirk für die Weiterführung der Bauarbeiten zu bekommen. Der Stadtbezirk war Besitzer der Parkgeschosse auf der die Konzerthalle gebaut werden sollte. Daher war es notwendig, dass die Behörde des Stadtbezirkes die Baupläne für die Stahlkonstruktion genehmigte. Obwohl Mortenson einen detaillierten Plan (in zwei Ordnern) mit Schritt für Schritt Analysen der Kraneinsätze und der zugehörigen Tragfähigkeitsnachweise der Tragkonstruktion der Parkgaragen bereitstellte, war sich die Verwaltung nicht sicher bezüglich des Kraneinsatzes. Nach dem einige Wochen und Sitzungen mit der Bezirksverwaltung verstrichen waren und die gewünschte Genehmigung des Bauplanes immer noch ausstand, zeigte Mortenson den Beamten des Stadtbezirkes ein 4D Modell des Bauplanes. In 15 Minuten waren die Beamten in der Lage mehr Details des Bauplans zu verstehen, als es ihnen in den vielen Nachmittagen bei der Durcharbeitung der beiden Ordner möglich war.

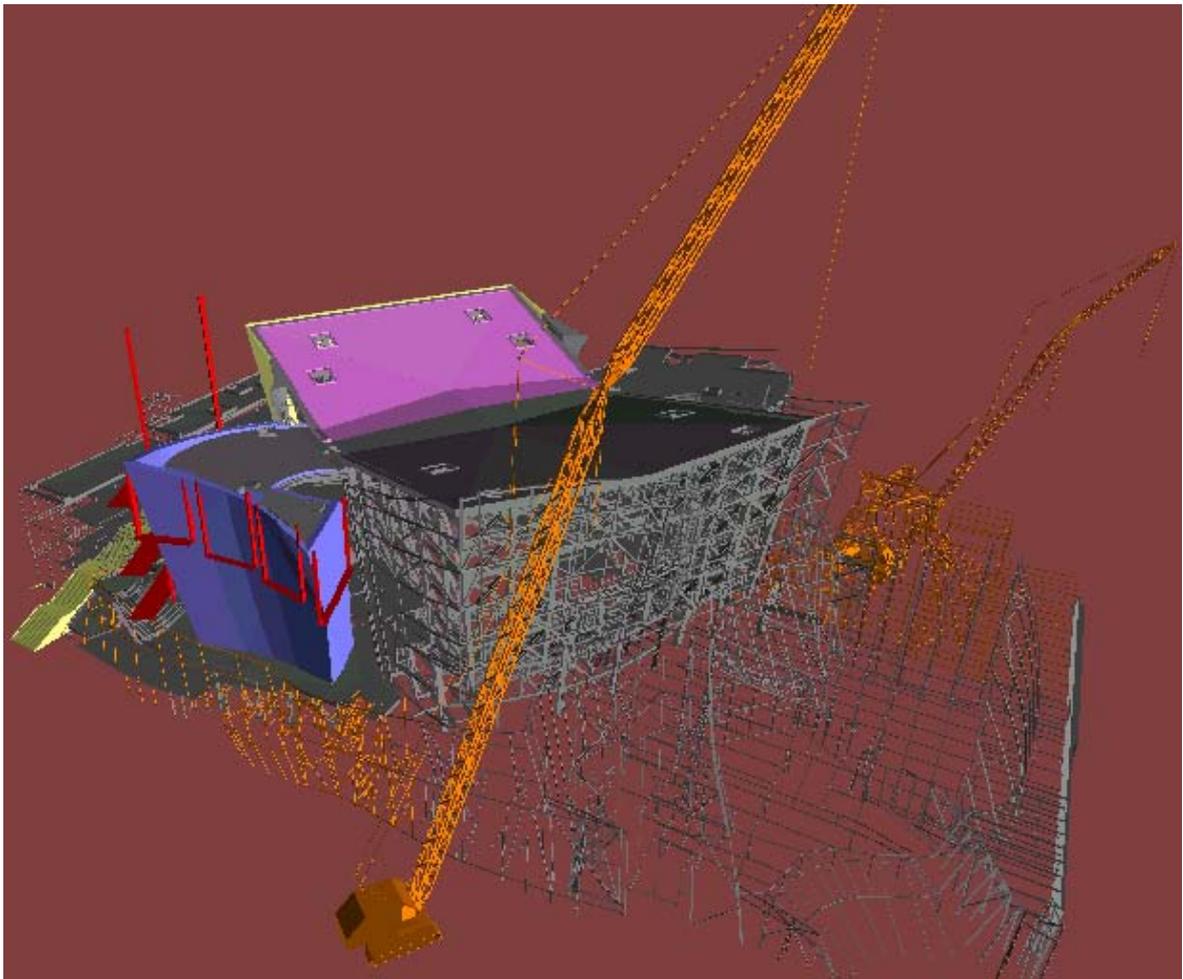


Bild 8: Momentaufnahmen des 4D Modelle für die Walt Disney Concert Hall in Los Angeles

e) Simulation von Betriebsabläufen und Personalschulung

Die Simulation von Betriebsabläufen und die Schulung des Betriebspersonals mit einem virtuellen Modell beinhaltet ein 3D CAD Modell (Bild 9), detaillierte Informationen über jede Komponente (auf die in einem grafischen Fenster oder über eine Baumstruktur auf der linken Seite zugegriffen werden kann), Betriebsanleitungen und –Informationen (abrufbar als Worddateien), die mit den Komponenten des 3D Modells ver-

knüpft sind.

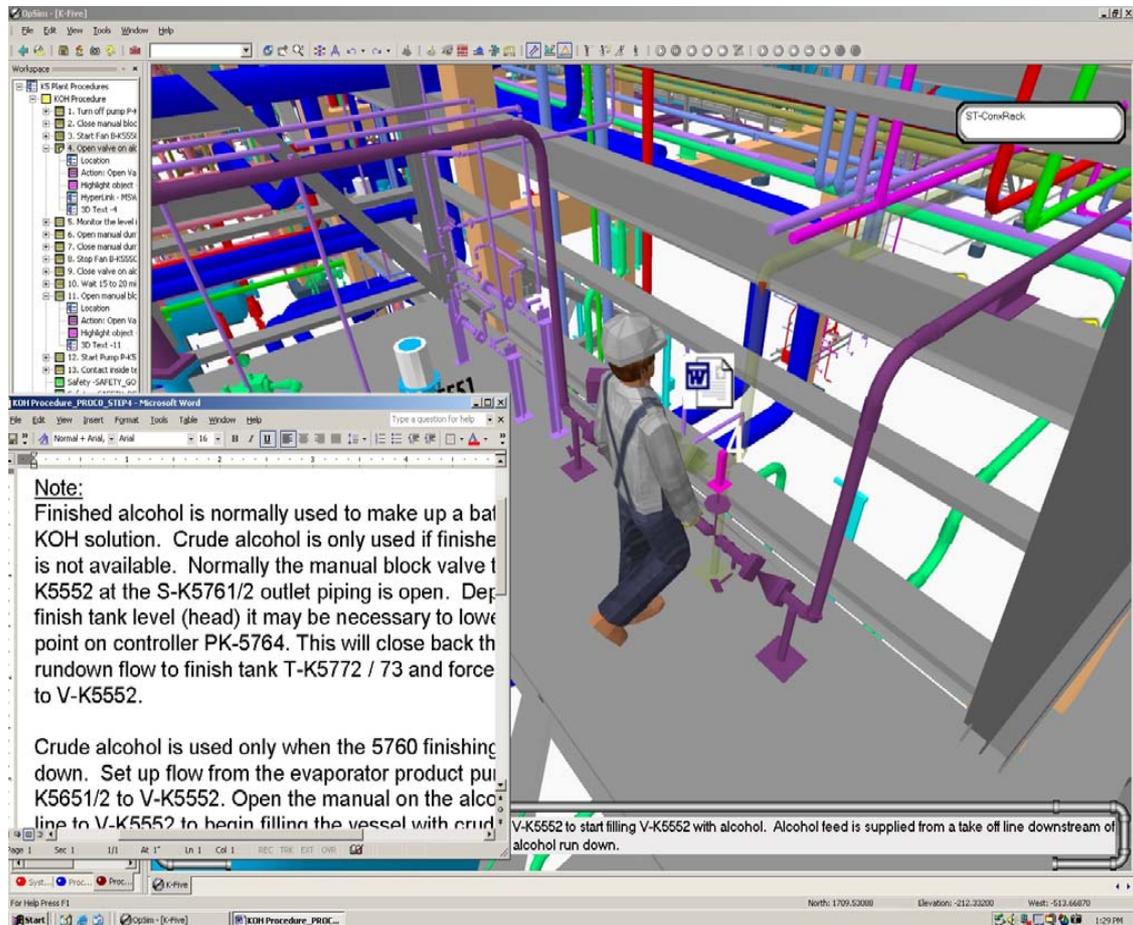


Bild 9: Die Simulation von Betriebsabläufen und Personalschulung mit einem virtuellen Modell nutzt das 3D Modell, welche die Entwicklungsingenieure erstellt haben. (Momentaufnahme des OpSim-Programms mit freundlicher Genehmigung der Common Point Technologies, Inc., San Jose, CA)

5. ORGANISATION-PROZESS MODELLIERUNGEN UND SIMULATIONEN

Das Ziel des Virtual Design Team Projektes (VDT = virtuelles Entwicklungsteam), war eine Theorie und Werkzeuge zu entwickeln, die es Projektmanagern ermöglichen sollten, Computermodelle zu erstellen oder "virtuelle Prototypen" ihrer Arbeitsprozesse und Organisationen, die sie dann anschliessend dafür benutzen könnten um das Leistungsverhalten der Projektorganisation bei der Ausführung der gegebenen Aufgaben voraussagen zu können. Das VDT Forschungsteam hatte die Vision, dass sie die Theorie und die Werkzeuge entwickeln könnten, die es Projektmanagern ermöglichen sollte, Organisationen zu entwerfen in der gleichen Art, wie Ingenieure Brücken entwerfen. Mit einer theoretisch begründeten Gestaltung der Organisation und einem Prozessanalysewerkzeug, könnte ein Prozessmanager systematische Diagnosen durchführen bezüglich des Projektplans, der Kosten und den Qualitätsrisiken, die mit der geplanten Konfiguration des Projektes verbunden sind. Der Projektmanager könnte dann anschliessend - wie im Flugsimulator - das Projekt simulieren und die Auswirkungen einer Serie von Managementinterventionen, die darauf ausgerichtet sind Risiken zu eliminieren oder zu lindern, auf das Leistungsverhalten des Projektes zu untersuchen.

Nach mehr als einer Dekade von Forschung und Applikation haben wir, unsere Studenten und Mitarbeiter die VDT Methoden in hunderten von industriellen Projekten in verschiedenen Bereichen und in vielen Anwendungen des Bauingenieurwesens eingesetzt.

(1) Überblick über die Virtual Design Team Anwendung

Das konzeptionelle VDT Modell erfordert den Entwurf eines Eingabemodells eines Projektes, mit dem Simulationen durchgeführt werden können, die Aussagen über zu erwartendes Leistungsverhalten erzeugen. Das Inputmodell besteht aus zwei Teilen: die Organisationsstruktur und der Arbeitsprozess des Projektes. Die Organisationsstruktur wird aus Agenten oder Positionen in einer reportierenden Hierarchie gebildet. Der Arbeitsprozess des Projektes besteht aus der logischen Reihenfolge der Aufgaben, die innerhalb des Projektes ausgeführt werden. Sowohl die Beschreibung der Agenten als auch der Aufgaben verfügen je über ein kleines Set von Attributen und haben Beziehungen miteinander. Die Agenten in der Hierarchie werden angewiesen eine oder mehrere Aufgaben zu erledigen. Jede Aufgabe verlangt bestimmte Fähigkeiten und Fertigkeiten über die die Agenten auf verschiedenen Niveaus verfügen oder nicht verfügen. Das VDT Prozessmodell basiert auf der Annahme, dass die Aufgaben eine Vorgänger-Nachfolgerverknüpfung haben, wie dies aus der Methode des kritischen Pfades (CPM = Critical Path Method) bekannt ist. Hinzu kommt, dass Aufgaben koordinations- und versagensabhängige Beziehungen haben, die jeweils anzeigen, dass die verschiedenen Ausführenden ihre Entwürfe miteinander diskutieren müssen und dass voneinander abhängige Aktivitäten überarbeitet oder nachgebessert werden müssen, wenn eine Aktivität Probleme bekommt. Bild 10 zeigt eine Darstellung eines repräsentativen Eingabemodells. Das Bild zeigt das SimVision² ® Programm, die kommerzielle Version des originären VDT Modells.

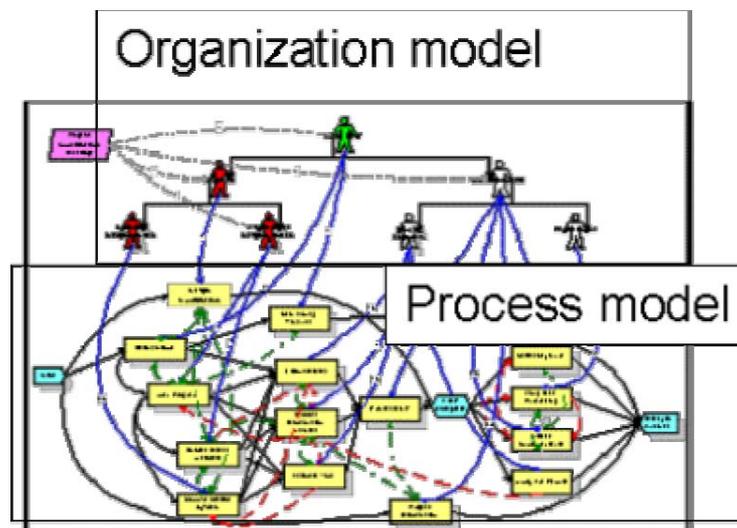


Bild 10: VDT Eingabe Modell. Das Modell zeigt die Meilensteine (Hexagone), Aktivitäten (Rechtecke), Akteure /Positionen (menschähnliche Symbole) und Abhängigkeiten (Verbindungslinien) für die Aktivitäten der Entwurfsphase für den Neubau einer Biotech-Anlage. In dieser Weise verbindet das VDT Modell die traditionellen Organisationsdiagramme mit den traditionellen Projektplänen. In dem rechnergestützten VDT oder SimVision Modell wird jede Position und jede Aktivität als "Datenstruktur" implementiert, die einige Eigenschaften und einige Beziehungen mit anderen Positionen und Aktivitäten hat. Vorgängerbeziehungen verknüpfen Positionen (Akteure) mit Aktivitäten (blaue Linien). Wie in der Methode des kritischen Pfades verknüpfen Vorgängerbeziehungen die Aktivitäten miteinander (schwarze Linien). Zusätzlich können in der VDT Methode Aktivitäten Koordinations- und Nachbesserungsabhängigkeiten aufweisen, die durch grüne respektive rote Verknüpfungen angezeigt werden.

² SimVision is a registered trademark of ePM.

Auf der Basis der "VDT Micro Contingency Theorie" [dies ist eine Organisationstheorie, die das Verhalten innerhalb von Projektorganisationen (micro) infolge interner und externer Faktoren oder Zwänge beschreibt; es werden Elemente der kognitiven und der sozialen Psychologie, wie auch der ökonomischen und soziologischen Organisationstheorien (marcro) mit einander verbunden. Anm. d. Übs.] wird für ein gegebenes Eingabemodell eines Projektes das Verhalten, wie die Akteure ihre Aufgaben bearbeiten simuliert. Die Simulation macht Voraussagen bezüglich des Projektplans, der Koordination von Akteuren und Aufgaben, der Nach- und Ausbesserungsarbeiten von Aktivitäten, die Arbeitsrückstände der Positionen, die Aufgliederung der Kosten, Planungsrisiken, Qualitätsrisiken und vielen anderen Parametern. Der Projektplan sagt im Speziellen voraus, wie lang jede Aktivität dauert und ob sie auf dem kritischen Pfad liegt, d.h. ob sich die Verzögerung bei dieser Aktivität auf die Gesamtprojektdauer des Projektes auswirkt. Dieser Prozess beinhaltet auch die Behandlung von Ausnahmesituationen. Die Simulation sagt ausdrücklich sowohl die direkte Arbeit, die notwendig ist um eine Aufgabe zu erledigen voraus, als auch die "versteckte" Arbeit für die Koordination, von Ausbesserungen und die Wartezeiten auf Entscheidungen der überwachenden Positionen. Der personelle Rückstand zeigt wie viel Arbeit sich im "Eingangsfach" jeder Position angesammelt hat. Die Auflistung der Projektkosten zeigt die Kosten der Arbeit/Nachbesserungsarbeit, Koordination und das Warten auf Entscheidungen für jede Aktivität. Aus diesen Tabellen können Projektmanager die grössten Risiken bezüglich des Leistungsverhaltens des Projektes identifizieren und gleichzeitig die Aktivitäten und Positionen die dafür verantwortlich sind. Man kann nun das Projektdesign modifizieren und den Entwurf der Organisation oder den Arbeitsprozess verändern mit Ziel die Auswirkung der Interventionen vorauszusagen. In dem wiederholt Interventionen gewählt werden, die zugleich ausführbar als auch wertvoll sind, können der Projektmanager und sein Team sukzessive die Projektorganisation und das Prozessmodelle optimieren. In anderen Worten, mit VDT können Projektmanager das Organisations- und Prozessdesign umgestalten in dem sie Voraussagen machen und solche Interventionen auswählen, die Vorteile zu akzeptablen Kosten bringen. Das Diagramm der funktionalen Qualitätsrisiken zeigt die Aktivitäten mit dem grössten Risiko für Ausnahmebehandlungen und Versagen und misst so das Risiko der Projektqualität. Das Projektkommunikationsrisikodiagramm misst die Risiken, dass Positionen ihre Kommunikationen nicht adäquat abwickeln können und kennzeichnet die Aktivitäten mit dem grössten Potential ein solches Risiko zu haben. Die Bilder 11,13, und 14 zeigen eine Auswahl einiger solcher Diagramme.

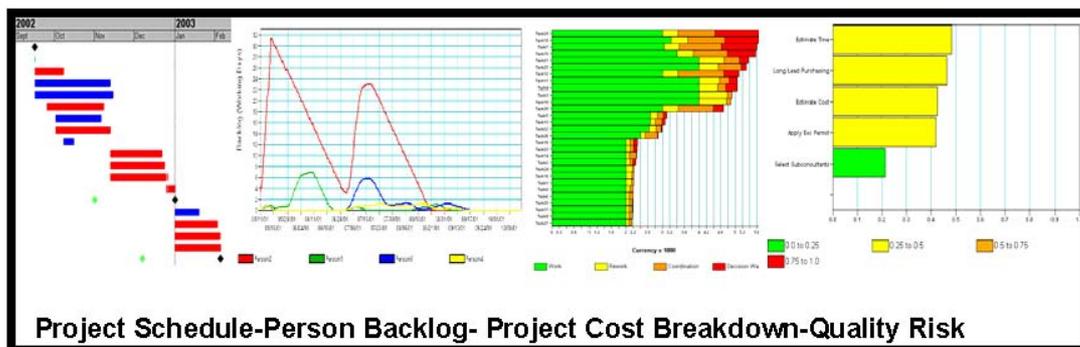


Bild 11: Die VDT Ausgaben werden in Form von Diagrammen und Tabellen präsentiert. Dieses Bild zeigt die von VDT/SimVision erzeugten Voraussagen bezüglich des Projektplanes, die personellen Arbeitsrückstände über die Zeit und die Auflistung der Projektkosten und die Qualitätsrisiken. Die Auflistung der Projektkosten zeigt die vorausgesagten direkten Arbeiten in grüner Farbe und die versteckten Arbeiten, d.h. die Koordination, Nachbesserung und das Warten auf Entscheidungen in anderen Farben.

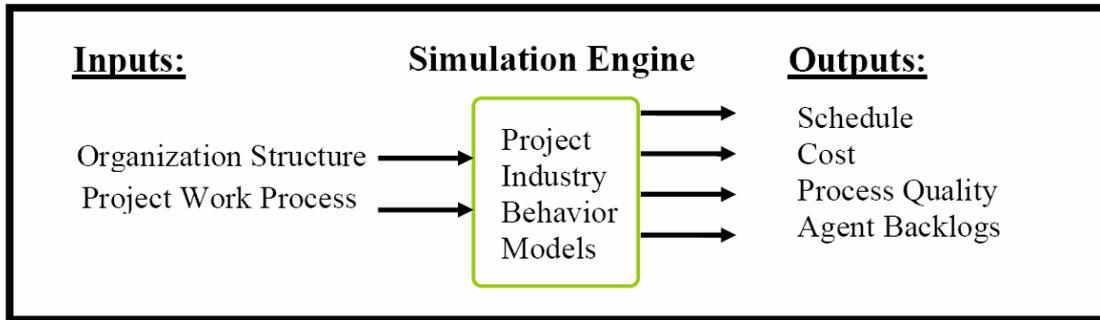


Bild 12: Konzeptueller Rahmen des VDT Modells. Die Organisationsstruktur und der Projektprozess und ihre Beziehungen miteinander definierend des VDT Eingabenmodell. Das Simulationsmodul simuliert, wie die Akteure oder die Positionen der Organisation ihre Arbeit verrichten aufgrund der VDT Mikroverhaltenstheorie. Das Simulationsmodul macht Voraussagen bezüglich des Projektplanes, der Kosten, der Prozessqualität, Arbeitsrückstände, etc. Aufgrund der Voraussagen können Veränderungen am Eingabemodell vorgenommen werden und durch wiederholtes Simulieren das Projektdesign sukzessiv optimiert werden.

Bild 13 zeigt ein “executive dashboard” (Entscheidungsbord), das die Dauer, Kosten und das Risiko einer Gruppe von massgeblichen Fällen zusammenstellt. Dies ist die gewöhnliche Methode die VDT Applikation zu gebrauchen: man entwickelt verschiedene Alternativen und vergleicht das quantitative Leistungsverhalten.

Legend	Meets Goal	Almost meets goal	Unmet Goal	
Case	Sim Finish Time	Sim Cost (K\$)	Risk	Comment
*Contractor increase staff	3/21/2001	244	0.515	Not feasible
All staff FT	4/16/2001	252	0.56	Very difficult for other projects
50% Design review/meetings	5/7/2001	353	0.48	Force quick owner decisions
Shorten 50% review tasks	5/21/2001	384	0.42	Encourage quick owner decisions
John Q. Full Time	6/6/2001	311	0.525	John Q. plus Gary FT
John H. Part Time	6/21/2001	324	0.545	John H. plus Gary FT
Don S. Full Time	8/5/2001	321	0.56	Don S. plus Gary FT
Gary S. Full Time	10/4/2001	335	0.485	
Split Contractor Tasks	10/19/2001	257	0.5	Add contractor resources
Gary, Amy 50%	10/22/2001	251	0.395	
Baseline	12/11/2001	350	0.515	

Bild 13: Executive Dashboard (Entscheidungsbord) für ein Projekt, das eine Anzahl von Projektdesignalternativen zeigt mit den jeweilig vorausgesagten Abschlussterminen, Kosten und Risiken

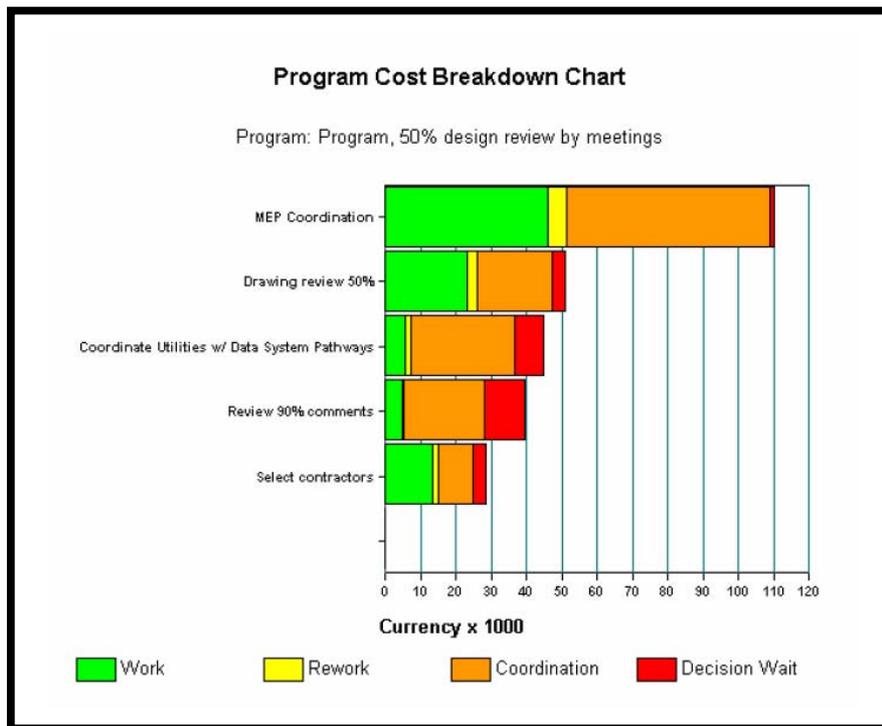


Bild 14: Auflistung der Projektkosten. Das VDT/SimVision Simulationsmodell macht quantitative Voraussagen bezüglich der Menge an direkter Arbeit, Nachbesserung, Koordination und der Zeit die verstreicht um auf die Entscheidungen der Manager zu warten. Die grünen Flächen repräsentieren die direkten Arbeiten, wie sie auch bei der Methode des kritischen Pfades angenommen werden. Die anderen Kostensegmente zeigen die versteckten Arbeiten von Koordination, Nachbesserungen und dem Warten auf Entscheidungen. Dieses Diagramm zeigt, dass das Volumen der versteckten Arbeiten signifikant grösser ist als das der direkten Arbeiten. Eines der Ergebnisse der VDT Forschungen zeigt, dass die versteckten Arbeiten ein signifikantes Planungsrisiko sein können, wenn die Projekte nicht sehr umsichtig geplant und gemanagt werden.

(2) Der theoretische Hintergrund des VDT Konzeptes

In dem von Jay Galbraith (1967, 1974) veröffentlichten auf den Informationsverarbeitungsprozess orientierten Blick auf Organisationen werden die Details von Aktivitäten weg abstrahiert und Arbeit wird einfach als ein Informationsvolumen, das durch eine Organisation verarbeitet werden muss betrachtet. Die Organisation besteht hierbei aus Individuen oder Subteams mit vorgegebenen Kapazitäten für die Informationsverarbeitung und die Kommunikation. Galbraiths Theorie lieferte die oben aufgeführten Arten von qualitativen Voraussagen und Empfehlungen. Die VDT Forschungen operationalisierten und quantifizierten Galbraiths Theorie auf dem Niveau der individuellen Aktivitäten und Projektteilnehmer. VDT operationalisiert die Idee von Ausnahmen und ihre Behebung als Informationspakete, die durch die Kanäle der Kommunikationswerkzeuge in die Eingangsfächer der Projektbeteiligten gereicht werden. Für das Verhalten der Akteure werden stochastische Selektionsalgorithmen genutzt die entscheiden auf welchen Posten in Eingangsfach sich die Aufmerksamkeit richtet.

Die Betrachtung von Organisationen als informationsverarbeitende Einheiten wurde erstmalig von March and Simon (1956, 1958) erdacht und Managern von Jay Galbraith (1967, 1974) vorgestellt. Sie geht davon aus, dass Fachleute solange Informationen verarbeiten, bis sie auf eine Ausnahmesituation stossen, d.h. eine Situation in welcher der Informationsbedarf um eine Nicht-Routinearbeit zu erledigen grösser ist als die verfügbare Information der Person, die die Arbeit erledigen soll. Die Ausnahmesituation wird dann in der Organisationshierarchie höher gereicht um jemanden zu finden, der die notwendigen Informationen

liefern kann um die Ausnahme zu beheben. In dieser Perspektive von Organisationen, in der vieles von der organisatorischen Möglichkeitstheorie (organizational contingency theory, Burton und Obel, 1998) unterlegt ist, ist die überwachende, aufsichtsführende Hierarchie die erste Ansprechenebene für die Arbeiter um ihre Ausnahmesituationen beheben zu können.

Galbraiths frühes Werk fokussierte sowohl auf die Grenzen der Informationsverarbeitung (die "gebundene Rationalität") der Arbeiter und ihrer Vorgesetzten ihre Arbeit, die Beantwortung von Fragen oder andere Aufgaben in einer in sequenzieller Art und Weise durchzuführen als auch die Begrenzung der Kommunikation mit den früheren Kommunikationstechnologien mit geringer Bandbreite wie Memos und textförmige Computerausdrucke. Er stellte fest, dass Vorgesetzte, bei denen sich ihre Arbeit ansammelt und verzögert und blockierte Informationswege die Haupthindernisse für die Wirksamkeit von Projektteams sind, die ihre Arbeiten mit hoher Geschwindigkeit ausführen müssen. Er schlug zwei generische Strategien zur Bewältigung des Problems der Informationsüberlastung vor: die Reduktion Nachfrage nach Informationsverarbeitungen und die Vergrößerung der Kapazitäten der Informationsverarbeitung. Das Informationsverarbeitungsbedürfnis in Organisationen wird aber vermutlich eher wachsen als nachlassen in der absehbaren Zukunft. Galbraiths zweite Strategie schlägt vor, dass die Organisationen Wege finden um ihr Informationsverarbeitungskapazität zu erhöhen. Um dies zu erreichen sollten Organisationen: (1) verbesserte Kommunikationstechnologien (Hardware und Software) gebrauchen um die vertikale Kommunikation zu vergrößern und (2) die Matrixorganisation anwenden mit formalisierten multidimensionalen Hierarchien und projektbasierte Teams um die horizontale Kommunikation zu erleichtern. Wie empirische Untersuchungen und theoretische Modelle zeigen führen Ausnahmesituationen, die während der Projektausführung entstehen zu signifikanten Mengen zusätzlicher (ungeplanter) Kommunikation und Koordination zwischen den Projektteilnehmern. Die neueste VDT Mikro-Organisationstheorie (micro contingency theory of organisations), die als rechnerbasiertes VDT Modell von Organisationen implementiert wurde, nimmt an, dass der projektbasierte Umgang mit Ausnahmesituationen sich weitgehend auf traditionelle Projektteams beschränkte, bei denen die die Mehrzahl der produktiven Projektarbeiten im asynchronen (d.h. in einem verteilten, offline) Modus abgewickelt werden (Jin and Levitt, 1996). Mit VDT Modellen ist es in bedeutenden Projekten aus der Praxis möglich gewesen, vorauszusagen, wann die mit der Behandlung von Ausnahmezuständen entstehende Kommunikations- und Koordinationslast die bestehenden Kommunikationskapazitäten der betroffenen Projektteilnehmer überschreitet und sowohl die Voraussagen als auch die empirischen Beobachtungen bestätigen, dass die Auswirkungen solcher Ausnahmezustände zu bedeutenden Verzögerungen in der Bauplanung, Qualitätsproblemen und Kostenüberschreitungen führen können.

6. MULTI-BENUTZER MULTI-DISPLAY MENSCH-COMPUTER INTERAKTIONEN

Hier folgt ein kurzer Abschnitt über den CIFE iRoom.

7. HINDERNISSE FÜR DEN EFFEKTIVEN GEBRAUCH VON VDC

In diesem Abschnitt möchten wir kurz auf einige Hindernisse eingehen, die nach unseren Beobachtungen der Einführung und dem effektiven Gebrauch von VDC entgegenstehen. Es ist wichtig diese Hindernisse zu erkennen, den oftmals vereiteln diese die Einführungsanstrengungen, aber gleichzeitig ergeben sich hier Möglichkeiten für Firmen, die schaffen einen Weg um diese Hindernisse zu finden und für Wissenschaftler zur Entwicklung von weiter integrierten und automatischen Methoden des POP Designs.

Nach unserer Erfahrung sind einige der signifikantesten Hindernisse die folgenden:

- Bauherren (d.h. die für die Finanzen zuständigen Geschäftsführer) schätzen die Kosten und nicht den Wert von Projekten: wir haben heute keine anerkannte, formale Methode um den Wert von Projekten zu erfassen

- Mit der Baukultur und den Baumethoden minimiert die Bauindustrie die Kosten, sie maximiert nicht den Wert: es gibt viele IT Systeme die Rechenschaft über die Kosten geben aber es nur sehr wenige Beispiele, die den Wert von Projekten ansprechen. Dies gilt ebenfalls für die Universitätsausbildung im Baumanagement.
- Theoretische Basis: für viele Aspekte im Bereich der POP Modellierungen und den Interaktionen zwischen Produkt, Organisation und Prozess auf den verschiedenen Detaillierungsstufen, über die verschiedenen Disziplinen und Projektphasen fehlen die formalen Methoden.
- Vorgehen, die zur Verbesserung von Prozessen und der Theorie führt: es fehlen gut etablierte Messmethoden (Metrics), die es ermöglichen, die Verbesserungen, welche VDC Methoden im Vergleich zu bestehenden Prozessen erzielen, präzise angeben zu können.
- Integrierte Werkzeuge: Wie bereits erwähnt ist die Integration zwischen bestehenden kommerziellen Applikationen und Forschungsprototypen, die für die POP Modellierungen eingesetzt werden heute noch immer eine grosse Herausforderung und sehr zeitaufwändig.

8. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die zahlreichen, oben angeführten Beispiele zeigen, dass viele Firmen die sich mit der Planung, dem Entwurf, dem Bau und dem Betrieb von Gebäuden beschäftigen bereits damit begonnen haben, virtuelle Baumodelle wirksam einzusetzen. Die Unternehmen nutzen drei verschiedene Typen von virtuellen Baumodeln (oder POP – Produkt-, Organisations- und Prozessmodelle)

- *Visuelle 3D und 4D Modelle:* Diese Modelle ermöglichen es, mehr Entscheidungsträger als es heute möglich ist zu einem frühen Zeitpunkt in Projekte einzubeziehen, damit ihr Geschäfts- und Ingenieurwissen in den Entwurf der Bauwerke, in die Projektplanung und -organisation einfließt und die Koordination in allen Phasen des Lebenszyklus verbessert werden kann. Solche Modelle können heute bereits recht schnell mit kommerziell erhältlicher Software erstellt werden; wobei die entstehenden Kosten üblicherweise durch Projektbudget abdeckbar sind. Sie bieten momentan den Unternehmen auch noch Vorteile bei der Arbeitsbeschaffung; wir sind aber der Meinung, dass dieser Vorteil langfristig nicht bestehen bleibt. In Zukunft werden die Unternehmen Wege finden müssen, wie sie solche visuellen Modelle effektiv und effizient über alle ihre Projekte hinweg einsetzen können.
- *Building Information Models (Bauinformationsmodelle):* Dieser Typ von Modellen unterstützt den Datenaustausch zwischen verschiedenen Softwareanwendungen und beschleunigt die Analysezykluszeiten und reduziert die Dateneingabe und die Datentransferfehler. Der Aufbau, das Testen und der Gebrauch solcher Modelle kann typischerweise nicht aus Projekten finanziert werden, sondern braucht eine spezielle Finanzierung durch das Unternehmen. Eine innovative Ingenieurfirma hat beispielsweise ca. 10% ihrer Ingenieurressourcen in ihrer Forschungs- und Entwicklungsgruppe dafür eingesetzt um ihre Software und Designmethoden auf Produktmodellen aufzubauen und um herauszufinden, wie sie von den Produktmodellinformationen die andere Projektteilnehmer erzeugen profitieren können. Die Fähigkeit, Projektdaten mehrfach zu nutzen um mehr Arbeiten mit dem gleichen Budget abzuwickeln oder die gleiche Arbeit mit einem sehr viel kleineren finanziellen Aufwand, sollte bei erfolgreicher Anwendung solcher Modelle zu einem auf die Dauer nachhaltigeren Konkurrenzvorteil führen als er mit visuellen Modellen erzielt werden kann.
- *Wissensbasierte Modelle zur Unterstützung der Automation:* Diese Modelle formalisieren und nutzen Geschäfts- und Ingenieurwissen um die vielen sich im Projekt und von Projekt zu Projekt wiederholenden Arbeiten zu automatisieren. Diese Modelle erfordern signifikante monetäre und intellektuelle Investitionen; aber wenn sie einmal erstellt sind, dann ermöglichen sie den Unternehmen ihre Wissensbasis sehr schnell und kostengünstig anzuwenden und zu verfeinern. Wir er-

warten, dass diese Modelle den Unternehmen signifikante Konkurrenzvorteile geben werden, da sie die Wettbewerbslandschaft für bestimmte Arbeiten verändern, indem sie geradezu in drastischer Weise die Konsistenz und die Frequenz mit der ein Unternehmen ihre Wissensbasis einsetzen kann vergrößert und dabei die Zeit, die gebraucht wird um eine Arbeit zu erledigen um ein bis zwei Größenordnungen reduziert.

Die Diskussion über die Rolle und den Einsatz der IT im Bauwesen ist natürlich eingebettet in den aktuellen industriellen Kontext. Die Projekte werden zunehmend komplexer in technischer, ökologischer, sozialer, legaler und kultureller in Hinsicht, mit wachsendem ökonomischem Druck auf die Bauherren und daher auch auf ihre Projekte mit immer kürzeren Abwicklungszeiten. Nachfolgend werden diese Herausforderungen in den POP-Rahmen gestellt:

- die hochleistungs- *Produktanforderungen* erzeugen mehr Abhängigkeiten zwischen den Produktionssystemen
- in den vorherrschenden hoch getakteten gleichzeitigen Prozessen werden Änderungen über die Subsysteme in Echtzeit propagiert (dies vereitelt zusätzlich die Unabhängigkeit der Produktionssysteme)
- Die *Organisation* muss eine grössere Zahl von Änderungen, Ausnahmesituationen und Entscheidungen in kürzerer Zeit bewältigen.

Aus diesen Gründen wird die Informationsverarbeitungskapazität von Organisationen zum kritischen, begrenzenden Faktor bei der Festlegung des Projektplans, der Kosten und der Leistung. Wie in diesem Artikel herausgearbeitet wird, muss die IT daher die Kapazität von Organisationen unterstützen um zu modellieren, zu analysieren und zu simulieren und für die Vorhersage der Projektleistungsfähigkeit.

REFERENZEN

- John C. Kunz, Tore R. Christiansen, Geoff P. Cohen, Yan Jin, Raymond E. Levitt, "The Virtual Design Team: A Computational Simulation Model of Project Organizations," Communications of the Association for Computing Machinery, November, 1998, pp. 84-92.
- Burton, Richard and Borge Obel, Strategic Organizational Diagnosis and Design, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- Galbraith, Jay and Edward Lawler, III (Contributor), Organizing for the Future: The New Logic for Managing Complex Organizations. Jossey-Bass Management Series), 1993.
- Galbraith, Jay, "Organization Design: An Information Processing View," Interfaces, Vol. 4, May 1974, pp. 28-36.
- Jin, Yan, and Raymond E. Levitt, "The Virtual Design Team: A Computational Model of Project Organizations," Journal of Computational and Mathematical Organization Theory 2 (3), Fall, 1996, pp. 171-195.
- Levitt, R.E., G.P. Cohen, J.C. Kunz, C.I. Nass, T. Christiansen, and Y. Jin, "The 'Virtual Design Team': Simulating How Organization Structure and Information Processing Tools Affect Team Performance," in Carley, K.M. and M.J. Prietula, editors, Computational Organization Theory, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, NJ, 1994.
- March, James and Herbert Simon (with Harold Guetzkow), Organizations, Wiley, 1958.
- Wegner, D.M., "Transactive Memory: A Contemporary Analysis of the Group Mind." In B. Mullen and G.R. Goethals (Eds), Theories of Group Behavior, Springer-Verlag: New York, NY, 1987, pp. 185-208.