

## **Erstellen von Produktionsmodellen und Produktionsplanung auf der Responsive Workbench**

Bernd Fröhlich  
IMK.VMSD  
GMD -- Forschungszentrum  
Informationstechnik GmbH  
53754 St. Augustin  
Germany  
Email: Bernd.Froehlich@gmd.de

Martin Fischer  
Department of Civil Engineering  
Terman Engineering Center, Rm.293  
Stanford, CA 94305-4020  
USA  
Email: fischer@ce.stanford.edu

Die Ablaufplanung für den Bau eines Gebäudes oder die Montage eines Autos erfordert von Planern, daß sie sich in Gedanken das Entstehen des fertigen Gebäudes oder Autos vorstellen. Typischerweise erfordert der Planungsprozeß auch die enge Zusammenarbeit verschiedener Leute. Die Responsive Workbench (Abb. 1) ist ein Virtual-Reality-System, das stereoskopische Bilder auf einer horizontalen, in einen Tisch integrierten Projektionsfläche darstellt. CAD-Modelle lassen sich dreidimensional darstellen und Benutzer können diese Modelle auseinandernehmen und zusammenbauen. Diese Funktionalität ist eine gute Grundvoraussetzung für die Implementierung eines virtuellen Produktionsplanungssystems. Das ursprüngliche RW-System (Krüger, W. & Fröhlich, B. (1994)), wie es 1993 bei der GMD in St. Augustin entwickelt wurde, haben wir in letzter Zeit wesentlich erweitert. Es unterstützt nun mehrere Eingabegeräte, zweihändige Interaktionstechniken (Cutler, L. D., Fröhlich, B. & Hanrahan, P. (1997)), sowie zwei gleichzeitige, aktive Benutzer (Agrawala, M. et al. (1997)). Bei dem Zwei-Benutzersystem werden individuelle, stereoskopische Bildpaare für die Kopfpositionen beider Benutzer berechnet und angezeigt. Dadurch entsteht ein gemeinsamer virtueller Raum, der eine natürliche Zusammenarbeit der beiden Benutzer erlaubt. So können sie zum Beispiel einfach mit dem Finger auf Teile des virtuellen, dreidimensionalen Modells zeigen, was mit dem ursprünglichen RW-System nicht möglich war. In diesem Vortrag werde ich unseren Produktionsplanungsprototyp vorstellen, der sich sehr stark auf diese neue Funktionalität stützt.

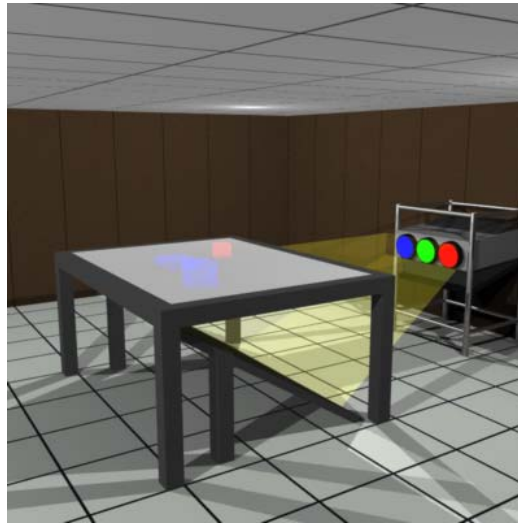


Abbildung 1: Der Aufbau der Responsive Workbench: Ein Videoprojektor, ein Spiegel unter dem Tisch und eine horizontale Projektionsfläche in einen Tisch integriert. Der Projektor projiziert hochauflösende, stereoskopische Bilder durch den Spiegel auf den Tisch.

Heutzutage benutzen Planer typischerweise Balken- oder Netzwerkdiagramme zur Darstellung von Konstruktionszeitplänen. Architekten und Ingenieure verwenden statische 3D-Modelle zur Beschreibung von Gebäuden. Diese zwei Repräsentationen wurden bisher selten in einem Raum-Zeit- oder 4D-Produktionsmodell integriert. Theorie und Praxis haben allerdings gezeigt, daß die Wirtschaftlichkeit eines Bauvorhabens vom Entwurf und Ablaufplan abhängig ist. Ein bestimmter Entwurf beeinflusst wie er gebaut werden kann, und die wirtschaftlichen Bauverfahren beeinflussen den Entwurf. Es existieren Software-Werkzeuge, die das Verbinden von Bauvorgängen mit den korrespondierenden Bauteilen ermöglichen und so eine Visualisierung von deren Erstellung auf dem Computerbildschirm erlauben (Collier, E. & Fischer, M. (1996)). Allerdings gibt es bisher kein System, das eine interaktive und dynamische 4D-Modellierungsumgebung zur Verfügung stellt, und es erlaubt, den Zeitplan sowie das 3D-Modell interaktiv zu verändern und die Veränderungen sofort im 4D-Modell zu sehen.

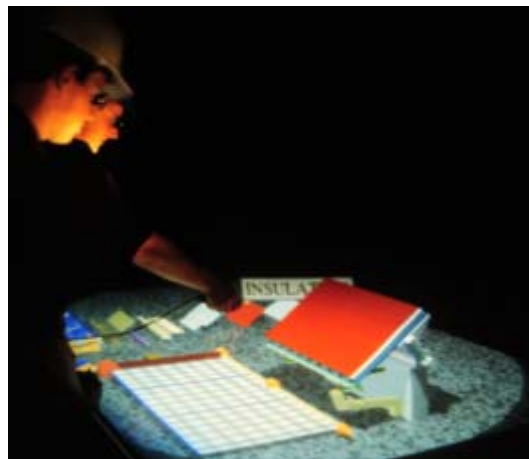


Abbildung 2: Überblick unserer 4D-Arbeitsumgebung

Abbildung 2 zeigt einen Überblick unserer 4D-Arbeitsumgebung, die sich in 3 Bereiche aufteilt. Im hinteren Bereich sieht man Icons, die zu verplanende Arbeitspakete repräsentieren. Ein Arbeitspaket besteht aus einer Aktivität und den dazugehörigen dreidimensionalen Bauteilen (z. B. „installiere Isolierung“). Jedes Arbeitspaket kennt die Dauer, die zur Ausführung der Aktivität

benötigt wird. Rechts im Vordergrund von Abb. 2 sieht man ein Teilmodell, das den Kontext für die zu planende Konstruktionsarbeit bereit stellt. An diesem Modell zeigen wir auch den Konstruktionsablauf. Auf der linken Seite in Abb. 2 sieht man ein Arbeitsblatt, auf dem der Ablaufplan als gewohntes Balkendiagramm dargestellt wird.



Abbildung 3: Positionierung und Untersuchung von Modellteilen mit beiden Händen



Abbildung 4: Zusammenarbeit zwischen zwei Benutzern

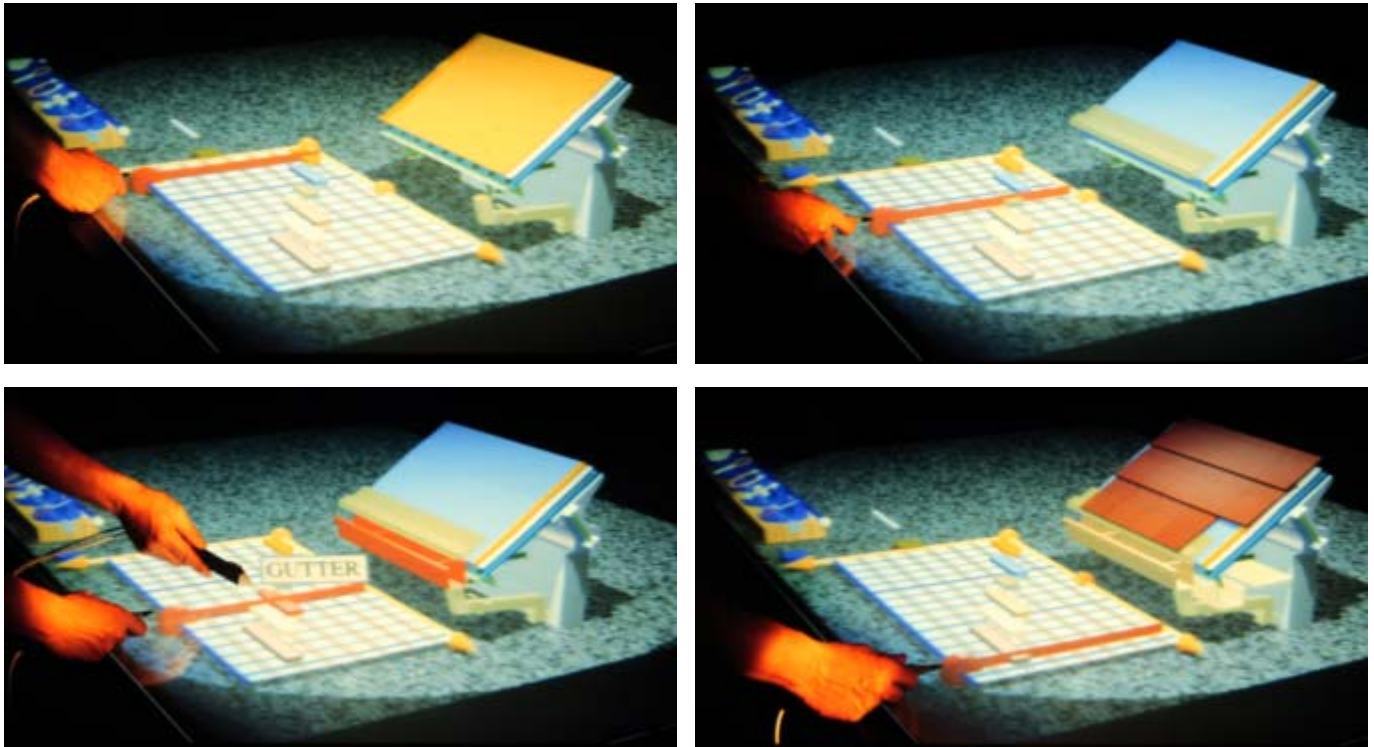


Abbildung 5: Eine Bausequenz

Bevor man mit dem Planen eines Bauvorganges anfängt, können die Benutzer die Arbeitspakete inspizieren indem sie einfach darauf zeigen (Abb. 2). Der Name des jeweiligen Arbeitspaketes wird angezeigt, und die zugehörigen Bauteile leuchten kurz an Ihrer zukünftigen Position im 3D-Modell auf. Dies erlaubt den Benutzern sich sehr schnell mit den räumlichen Gegebenheiten des Modells vertraut zu machen. Die Benutzer können auch Teile des Modells mit beiden Händen aufgreifen und aus der Nähe betrachten (Abb. 3). Ein Arbeitspaket wird in den Zeitplan aufgenommen indem man es einfach anklickt. Unser System fügt dann die entsprechende Aktivität in das Balkendiagramm und die dazugehörigen Bauteile in das 3D-Modell ein. Wir verwalten auch grundlegende Abhängigkeiten zwischen den Arbeitspaketen, so wird zum Beispiel das Arbeitspaket „Installiere Dachziegel“ am Anfang grau dargestellt. Es kann noch nicht in den Zeitplan eingebaut werden, da die Dachisolierung (in gelb) zuerst aufgebracht werden muß. Während des Planungsprozesses zeigen wir auf der Workbench immer den aktuellen Zustand des 3D-Modells an. Dadurch erhält der Planer visuelle Unterstützung zur Einschätzung der räumlichen Komplexität der durchzuführenden Arbeit. Abb. 4 zeigt die Diskussion zwischen dem Dachdecker und dem Zulieferer für die Metallunterkonstruktion. Der Dachdecker möchte, daß der Spenglermeister die Dachrinne erst nach den Dachziegeln installiert, damit diese nicht während dem Aufbringen der Ziegel beschädigt wird. Der Spenglermeister möchte seine Arbeit allerdings ohne Unterbrechung durch den Dachdecker durchführen. Diese Szenarios können sehr einfach und schnell mit unserer 4D-Arbeitsumgebung auf der Workbench modelliert werden. Jede Aktivität kann direkt im Balkendiagramm beliebig verlängert, verkürzt oder verschoben werden. Entwurfsalternativen lassen sich ausprobieren, indem man einfach ein

Arbeitspaket durch ein anderes Paket ersetzt. Zu jeder Zeit kann der Ablauf des Bauvorhabens visuell simuliert werden indem man den Zeit-Schiebereglern im Balkendiagramm hin- und herschiebt (siehe auch Schrittreihenfolge in Abb. 5). Dadurch bekommen die Planer sofortiges und konsistentes Feedback über die Auswirkungen ihrer Entscheidungen.

Die Integration eines dreidimensionalen Modells mit einem Zeitplan für ein Bauvorhaben führt zu einer interaktiven und dynamischen Produktionsplanungsumgebung, in der kontinuierlich der Zustand des 3D-Modells visualisiert wird. Dies befreit den Benutzer von dem Zwang sich das Bauvorhaben nur in Gedanken vorzustellen. Nach unserer Erfahrung ist der erfolgreiche Einsatz einer solchen virtuellen Arbeitsumgebung wesentlich von der Funktionalität des unterliegenden VR-Systems abhängig mindestens zwei aktive Benutzer gleichzeitig zu unterstützen. Mit unserem System können die Benutzer schnell und direkt das Wechselspiel zwischen dem Entwurf (3D) und dem dazugehörigen Produktionsmodell (4D) erfahren. Die CAD-Modelle werden direkt vor den Benutzern auf der Workbench dreidimensional dargestellt, was einen natürlichen Umgang mit den Komponenten des 3D-Modells sowie den Aktivitäten im Balkendiagramm ermöglicht. Wir haben vor, unsere aktuelle 4D-Arbeitsumgebung in eine hierarchische Produkt- und Prozeßmodellierungsumgebung auszubauen, die auch verteiltes Arbeiten unterstützen soll. Diese Erweiterung wird Benutzern die Möglichkeit geben, den Planungsprozeß mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden zu betrachten. Außerdem werden Experten, die sich an verschiedenen Orten befinden, in einem virtuellen Team zusammenarbeiten können.

Wir danken Maneesh Agrawala, Andrew Beers, Pat Hanrahan, Mark Cutkosky, Charles Petrie und Yuqing Chen für Ihre Mitarbeit an diesem Projekt, und Interval Research sowie der Stanford Integrated Manufacturing Association für ihre Unterstützung.

### **Literatur:**

Krüger, W. & Fröhlich, B. (1994). *The Responsive Workbench*. IEEE Computer Graphics and Applications, 17(4), 13-15.

Cutler, L. D., Fröhlich, B. & Hanrahan, P. (1997). Two-Handed Direct Manipulation on the Responsive Workbench. 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics.

Agrawala, M., Beers, A., Fröhlich, B., Hanrahan, P., McDowall, I. & Bolas, M. (1997) The Two-User Responsive Workbench: Support for Collaboration Through Individual Views of a Shared Space. Computer Graphics (SIGGRAPH '97 Proceedings), 327-332.

Collier, E. & Fischer, M. (1996). Visual-Based Scheduling: 4D Modeling on the San Mateo County Health Center. Proceedings of the Third Congress on Computing in Civil Engineering, Jorge Vanegas and Paul Chinowsky (Eds.), ASCE (American Society of Civil Engineers), Anaheim, CA, June 17-19, 800-805.