

# Inter

# *aktiv*

Fraunhofer IPA



Die CAVE  
am Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA auf der  
Hannover Messe 2005

Fraunhofer IPA auf der  
Control 2005

## Die CAVE am Fraunhofer IPA

# Immersive Umgebung für die Produktion

Planungs- und Gestaltungsaufgaben in der Digitalen Fabrik erfordern die Kooperation von Fachexperten verschiedener Planungsdisziplinen über fachliche und räumliche Distanzen hinweg: Vertreter aus der Fabrikplanung, aus der technischen Produktionsplanung, aus der Produktionsprogrammplanung und aus der Produktentwicklung sind für eine erfolgreiche Projektabwicklung eng miteinander zu verzahnen. Weiterhin ist der intuitive Zugang zu komplexen IT-Planungswerkzeugen nach wie vor ein Thema von Relevanz: Die Entwicklungstrends bei der Nutzung von IT-Werkzeugen für die Produktionsentstehung zeigen, dass die Integration und kooperative Nutzung unterschiedlichster digitaler Werkzeuge immense Bedeutung haben. In einer Studie von Roland Berger aus dem Jahr 2002 mit dem Titel »Digitale Fabrik« wurden 16 strukturierte Interviews, Expertengespräche und Workshops mit Führungskräften von vier deutschen Automobilherstellern sowie vier weitere Experteninterviews und Workshops mit Führungskräften von Automobilzulieferern durchgeführt. Hier zeigte sich, dass von allen Befragten die Digitale Fabrik als Mittel verstanden wird, eine bessere Vertrauenskultur bei größerer Transparenz im Entwicklungsprozess zu erlangen. Für diese menschlichen Belange wird zunächst auch der größte Nutzen erwartet.

Häufig sind jedoch die in den Einzeldisziplinen der Planung verwendeten Daten, Methoden und Werkzeuge unterschiedlich und schwer kompatibel. Verschärfend kann hinzutreten, dass verwendete Wissensrepräsentationen nur disziplinar verständlich sind und die entsprechenden Fachexperten sowohl organisatorisch als auch räumlich getrennt arbeiten. Dies führt häufig dazu, dass die Verknüpfung von Ergebnissen erst dann erfolgt, wenn sich Konflikte nur noch mit hohem Aufwand korrigieren lassen. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Inbetriebnahme und den Anlauf.

Eine Möglichkeit, den Herausforderungen der interdisziplinären Planung in der Digitalen Fabrik zu begegnen, stellen Kooperative Virtuelle Umgebungen (engl. Collaborative Virtual Environments, CVEs) dar. Die Nutzung von CVEs ist heutzutage eine der vielversprechendsten Einsatzmöglichkeiten von VR. Das zentrale Element von CVE ist eine für mehrere Anwender gemeinsam nutzbare virtuelle Umgebung, in der sie miteinander und mit der

Umgebung selbst interagieren können. Wesentlich für eine CVE ist, dass sie ein einheitliches und gemeinsam nutzbares Bezugssystem zur Verfügung stellt. Benutzeraktionen und Benutzersichten werden in dieser Umgebung »verkörpert«: Das durch einen Benutzer anvisierte Objekt oder seine Aktivitäten sind für andere Benutzer sichtbar. Sowohl die einzelnen Teilnehmer als auch die Objekte und Informationen, auf die sie zugreifen, in einer Umgebung zu vereinen, ist der zentrale Aspekt einer CVE.

Um die Kooperation in der Digitalen Fabrik zu unterstützen, muss eine CVE einige wesentliche Voraussetzungen erfüllen. Ein gemeinsamer Kontext ist hier das entscheidende Kriterium. Dabei handelt es sich zum einen um das Wissen einzelner Experten über ihre aktuellen und früheren Planungsaufgaben, zum anderen geht es um die gemeinsam zu nutzende virtuelle Umgebung. Insgesamt erleichtert der gemeinsame Kontext das gemeinsame Verständnis einer Planungsaufgabe. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Wahrnehmung von anderen Experten, die am Planungsprozess beteiligt sind. Das Verstehen von Aktivitäten der anderen schafft hier Voraussetzungen für ein effizienteres Handeln. Kooperation in einer CVE erfordert weiterhin die Möglichkeiten zur Verhandlung und Kommunikation sowie die Möglichkeit, zwischen unterschiedlichen Wissensrepräsentationen und Benutzersichten umzuschalten.

Kooperative Systeme existieren heute in vielerlei technischen Ausführungen, jedoch immer mit der Maßgabe, Distanz, Fachgrenzen und Zeiträume zu überbrücken. Realisierungen reichen hin bis zu verteilten Kooperativen Virtuellen Umgebungen. In diesen so genannten Virtual Communities können sich Teilnehmer an verschiedenen Orten einloggen und sich gegenseitig über ihre virtuellen Stellvertreter (Avatare) sehen. Weiterhin lassen sich Projektionssysteme, ausgestaltet beispielsweise als Projektionswand oder als Projektionstisch, leicht für Gruppendiskussionen einsetzen.

Vor diesem Hintergrund hat das Fraunhofer IPA nun einen 3-Seiten-Projektionsraum (CAVE) entwickelt und in Betrieb genommen. Dieser ermöglicht eine 180°-Rundsicht in eine Virtuelle Umgebung und bietet dabei Raum für mehrere Benutzer. Weiterhin kann die CAVE als Client an einem zentralen Multi-User-Server angedockt werden und somit den Teil einer Virtual Community bilden.



Bild 1 Ein Blick in die CAVE des IPA.

### Das Hardware-Konzept

Bei der Realisierung der 3-Wand-CAVE wurde darauf geachtet, über die Verwendung von Standardkomponenten ein möglichst preisgünstiges Konzept zu realisieren. So soll die monetäre Machbarkeit der Verbreitung dieser Technologie in der Industrie Vorschub leisten. Der mechanische Aufbau setzt sich aus Industrieprofilen zusammen. Die graphische Ausgabe geschieht über sechs LCD-Projektoren (je Projektionsseite je ein Bild für das rechte und für das linke Auge) mit einer Auflösung von je 1365 x 1024 Pixel. Hier wird also auf die deutlich teureren Röhrenprojektoren verzichtet und gleichzeitig eine gute Auflösung erzielt. Dieses bedingt gleichzeitig, dass die IPA-CAVE als Passivstereosystem ausgestaltet ist: Lichtwellen-Polarisationsfilter sorgen für die Kanaltrennung zwischen linkem und rechtem Auge. Damit sind auch spezielle Rückprojektionsscheiben ausgewählt worden, welche diese Lichtwellen-Polarisation aufrecht halten – »normale« Rückprojektionsscheiben würden die Polarisations Ebenen wieder streuen und somit die Kanaltrennung zerstören. Die Benutzerposition in der CAVE wird über ein elektromechanisches Trackingsystem erfasst. Dieses ist auch schon bei anderen Virtual-Reality-Systemen am Fraunhofer IPA im Einsatz. Die Erfassung der Benutzerposition über Tracking ist bei Mehrwandprojektionen einerseits zwingend erforderlich, um verzerrungsfreie Bildübergänge an den Scheibenkanten berechnen zu können. Andererseits erlaubt das Tracking, um virtuelle Objekte herumlaufen zu können, ohne aktiv zu navigie-

ren: Die Rückkopplung der Benutzerposition in die Virtuelle Umgebung macht dies möglich, denn die Perspektive errechnet sich automatisch neu mit der Positionsänderung des Benutzers in der CAVE. Die aktive Navigation geschieht entweder über eine Spacemouse (Kraftsensor mit 6 Freiheitsgraden) oder durch einen Trackball. Die Recherausstattung besteht aus sieben PCs. Sechs PCs berechnen dabei die sechs Bildperspektiven. Der siebte Rechner ist der zentrale Steuerungsrechner, an welchem das Trackingsystem und die Eingabegeräte zur Navigation angeschlossen sind. Eine besondere Eigenschaft der vom Fraunhofer IPA entwickelten Software ist, dass sich die normale Computerperipherie wie eine Maus oder ein Trackball für die Projektionsansichten verwenden lässt. Die Maus wird am Zentralrechner angeschlossen und dieser leitet deren Signale weiter an einen der sechs Visualisierungsrechner. Die Umschaltung von einem zum anderen Rechner erfolgt automatisch, sobald man den Mauszeiger in eine benachbarte Projektionsfläche bewegt. Die sechs Visualisierungsrechner sind mit Graphikkarten aus dem Consumer-Bereich ausgestattet. Auch hier wird also auf die teuren Profi-Lösungen verzichtet. Die eingesetzten Graphikkarten verfügen dennoch über wirkungsvolles Antialiasing. Das ist notwendig, um die härteren Aliasing-Wiedergabeeigenschaften (stärkere »Pixeligkeit«) der LCD-Projektoren im Vergleich zu Röhrenprojektoren zu kompensieren. Komplettiert wird die CAVE durch ein Surround-Soundsystem, so dass auch eine Audioausgabe möglich ist.

## Das Software-Konzept

Die CAVE wird betrieben über eine 2-Server-Softwarearchitektur. Server Nummer 1, der so genannte CAVE-Server, liest das Trackingsystem und die Eingabegeräte aus. Damit werden die sechs Perspektiven berechnet und die sechs Visualisierungsrechner bezüglich ihrer graphischen Ausgabe angesteuert. Server Nummer 2, der Multi-User-Server, ist für den Austausch von Nachrichten auf der Ebene der 3-D-Modelle verantwortlich. Damit können Ereignisse auf einem Visualisierungsrechner ausgelöst und an die anderen 5 Visualisierungsrechner verteilt werden (Synchronisation). Das Auslösen von Ereignissen geschieht beispielsweise über einen Mausklick. Andererseits ist es leicht möglich, mit dem Multi-User-Server weitere Clients zu integrieren, ohne die Basissoftware ändern zu müssen. Weitere Clients können sein:

- Visualisierungs- und Interaktionsfrontends wie zusätzliche Bildschirme, Holobench, Projektstische. Somit wird eine Virtual Community zwischen diesen Systemen etabliert und eine verteilte Zusammenarbeit über Distanz wird möglich.
- Spezielle Eingabegeräte wie Datenhandschuhe, Gelenkarmsysteme etc. Der Einsatz dieser Eingabegeräte bestimmt sich je nach der jeweiligen Aufgabenstellung.
- Simulatoren, Prozessleittechnik und Ablaufskripte/Logdateien aus der Ergonomiesimulation, Robotersimulation, Materialflusssimulation etc. Dadurch können nicht nur Fachexperten ihr ganz spezielles Know-how einbringen, sondern ihre Planungsergebnisse mit anderen Parteien abstimmen.

Als 3-D-Daten werden VRML-Objekte verwendet. Die Gründe liegen zum einen darin, dass VRML ISO-Standard ist (ISO/IEC 14772) und gängige CAD-Systeme und 3-D-Modellierer über Exportschnittstellen zu VRML verfügen.

Weiterhin gibt es umfangreiche Programme zur Datenreduktion von VRML-Dateien. Schließlich verfolgt das Fraunhofer IPA das Konzept der multifunktionalen 3-D-Objekte. Dabei sollen die 3-D-Dateien selbst bereits Eigenschaften bzw. Funktionalitäten wie Logik oder Kinematik besitzen. Realisiert werden diese Funktionalitäten über JavaScript-Programme, welche in die 3-D-Objekte eingebettet werden.

## Ausblick

Aktuelle Arbeiten an der CAVE beschäftigen sich mit verbesserten Möglichkeiten zum Teleconferencing und neuartigen Interaktionsgeräten für CAVE-Umgebungen.

Aktuelle Realisierungen zum Teleconferencing verwenden schlicht gängige Werkzeuge wie Microsofts NetMeeting. Über die Bild-in-Bild-Techniken der Projektoren lassen sich damit weitere Konferenzteilnehmer in die CAVE einblenden. Mikrophone und Lautsprecher auf beiden Seiten ermöglichen den Dialog.

Zukünftig geplant ist die Integration von Live-Videostreams direkt in die 3-D-Umgebung, was über dynamische Texturen auf den 3-D-Objekten realisiert werden kann. Der Vorteil läge darin, dass damit nicht mehr sowohl die 3-D-Umgebung als auch der Projektor bedient werden müssten, sondern der Benutzer sich nur noch auf die Bedienung der 3-D-Umgebung konzentrieren könnte.

Um beispielsweise für Montageuntersuchungen auch in einer so großen Umgebung wie einer CAVE Kraftrückkopplung zu erfahren, wird am Fraunhofer IPA eine spezielle Interaktionstechnik entwickelt. Momentan konzentrieren sich die Arbeiten auf ein so genanntes SPIDAR (Space Interface Device for Artificial Reality). Dabei handelt es sich um eine an mehreren Fäden aufgehängte Kugel. Die Fäden werden über Elektromotoren gezogen und ermöglichen damit eine Kraftübertragung.



Bild 2 Ein Kooperationsszenario: Benutzer 1 entwirft und testet einen Arbeitsplatz mit Datenhandschuhen an einer Holobench; Benutzer 2 bewertet die Szene zeitgleich an einem anderen Ort.



Bild 3 Teleconferencing in der CAVE mit Bild-in-Bild-Technik.

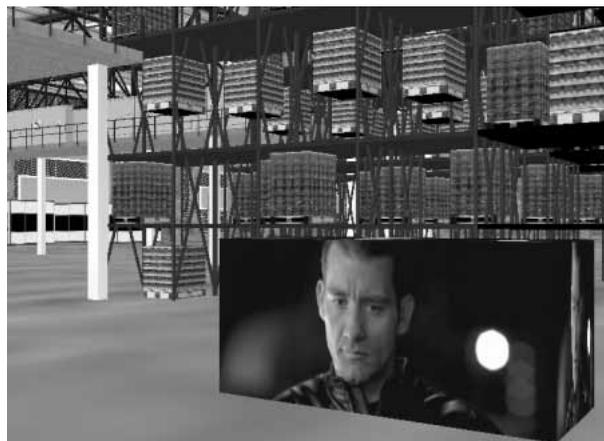


Bild 4 Teleconferencing in der CAVE mit Live-Videostreams als dynamischen Texturen.

Diese Motoren verfügen weiterhin über Rotationsencoder und können damit die Position der Kugel direkt erfassen. In der Kugel sind mehrere Schalter, ein Scrollrad und ein Funksender verbaut. Letztendlich wird mit diesem Aufbau angestrebt, das Montieren zweier komplexer Geometrien in realer Größe und bei realen Wegen anhand digitaler Prototypen abzusichern.



Bild 5 Das SPIDAR: Force-Feedback auch für großräumige VR-Umgebungen.

## Nutzen

Die Nutzenpotenziale der Digitalen Fabrik können nur dann in vollem Maße ausgeschöpft werden, wenn alle Beteiligten über fachliche und räumliche Distanz hinweg effizient gemeinsam planen können. Um dieser Herausforderung zu begegnen, ist der Einsatz der VR-Technologie zur Kooperationsunterstützung prädestiniert. VR bietet den Planungsexperten nicht nur einen intuitiven Zugang zu den einzelnen Planungswerkzeugen, welcher das Verständnis komplexer Sachverhalte und die Interaktion erleichtert. Vielmehr kann mit VR eine Kooperationsplattform geschaffen werden, die zum einen die unterschiedlichen Werkzeuge integriert und zum anderen den Experten eine Arbeitsumgebung für ein effizientes gemeinsames Planen zur Verfügung stellt. Mit dem IPA-Ansatz, der die Aspekte Kooperation und Interaktion in der Digitalen Fabrik fokussiert, ergeben sich interessante neue Möglichkeiten zur Zusammenarbeit in der Produktionentstehung – immer mit dem Ziel, Menschen frühzeitig zu integrieren und deren Potenzial als Gesamtheit nutzbar zu machen.

- Kontakt
- Dipl.-Ing. Christoph Runde
- Telefon: +49(0)7 11/970-11 28
- E-Mail: runde@ipa.fraunhofer.de