

Technical Report TUBS-CG-2003-08

DAVE – Eine neue Technologie zur preiswerten und hochqualitativen immersiven 3D-Darstellung

Dieter W. Fellner, Sven Havemann, Armin Hopp¹
{d.fellner,s.havemann,a.hopp}@tu-bs.de

Institute of Computer Graphics
University of Technology
Mühlenpfordtstr. 23, D-38106 Braunschweig
<http://graphics.tu-bs.de>

© Computer Graphics, TU Braunschweig, 2003

¹digital IMAGE, Germany

DAVE – Eine neue Technologie zur preiswerten und hochqualitativen immersiven 3D-Darstellung

D. Fellner¹, S. Havemann¹, A. Hopp²

¹ Inst. f. ComputerGraphik, TU Braunschweig
² digital IMAGE

Zusammenfassung. Aus technologischer Sicht ist die Erzeugung eines Rundum-Stereobildes die zentrale Herausforderung beim Bau einer CAVE [1]. Für die Braunschweiger DAVE wurde deshalb ein neues Verfahren zur synchronisierten Bildausgabe entwickelt. Es basiert auf einer Elektronik-Komponente, mit der existierende DLP-Projektoren so modifiziert werden, dass sie von einem externen Taktgeber gesteuert werden können. So wurde es erstmals möglich, vergleichsweise preiswerte Standard-Digitalprojektoren für die aktive Stereoprojektion einzusetzen.

Die Verlagerung der Synchronisierung von der Bild-*Erzeugung* in die Bild-*Anzeige* war der entscheidende Schlüssel, um eine CAVE durchgehend aus Standardkomponenten aufbauen zu können – zu einem Bruchteil des üblichen Preises.

Wir betrachten dies als einen Durchbruch von strategischer Bedeutung, um die CAVE-Technologie mittelfristig als Standard-Werkzeug bei der industriellen Produktentwicklung etablieren zu können. Um dies zu erreichen, ist aber noch eine Reihe von Forschungsfragen auf der Software-Seite zu lösen, wie anhand einer Fülle von Beispielprojekten dokumentiert wird.

1 Einleitung

Die DAVE ist eine *CAVE*, das ist ein spezieller Typ einer Rundum-Projektion, wo virtuelle, d.h. nur im Rechner existierende, 3D-Welten nicht nur angeschaut werden können, sondern der Betrachter taucht regelrecht in die simulierte Welt ein (*Immersion*) [1]. Die CAVE steht damit qualitätsmäßig am oberen Ende eines breiten Spektrums verschiedener Szenarien für die *interaktive 3D-Darstellung*. Um die Bedeutung der DAVE und die damit verbundenen Chancen einschätzen zu können, sind einige grundsätzliche Erläuterungen notwendig.

Die Strategische Bedeutung interaktiver 3D-Darstellung

Virtual Reality im allgemeinen und die CAVE-Technologie im besonderen sind Schlüsseltechnologien. Virtual Reality (VR) ist von strategischer Bedeutung in Zeiten dramatisch kürzer werdender Produktlaufzeiten, und dem daraus resultierenden hohen zeitlichen Druck bei der Entwicklung neuer Produkte. Nicht nur die industrielle Produktion, sondern auch die Produkt-Entwicklung sind bereits vielfach auf durchgehend digitalisierte Arbeitsabläufe umgestellt worden. Auch der Bau und das Testen realer Prototypen werden heute zunehmend durch ausgefeilte numerische Simulationsverfahren ersetzt. Weiter setzt man bei der Produkt-Darstellung, etwa in der Werbung, vielfach

auch schon Software zur 3D-Visualisierung ein – wenn auch meist nur, um Computer-Animationen zu erzeugen, d.h. offline berechnete computergenerierte Filme.

Was in naher Zukunft hinzukommen wird, ist der Einsatz *interaktiver* 3D-Darstellung auf breiter Front. Sie bietet eine ganze Palette von Vorteilen: Sie ist preiswert, idealerweise sofort aus den Produktionsdaten verfügbar, und liefert dem Betrachter, der das Objekt frei drehen und wenden kann, einen ganz unmittelbaren Eindruck. Nur mit ihr ist die Beurteilung des *look and feel* von Gegenständen möglich, die überhaupt noch nicht real existieren. Digitale 3D-Modelle sind dank Internet sekundenschnell zu übertragen und daher das ideale Kommunikationsmittel etwa bei der gemeinsamen Arbeit räumlich oder zeitlich getrennter Entwicklergruppen. Nur wenn ein Objekt frei von allen Seiten betrachtet werden kann, sind Design-Fehler im Detail zu erkennen, die unter Umständen bei einem einzelnen Standbild kaum auffallen würden.

Hürden bei der Verbreitung der neuen Technologie

Einem wirklichen Durchbruch interaktiver 3D-Graphik stehen allerdings noch einige technologische Hürden entgegen. In den Jahren seit 2000 hat eine revolutionäre Umwälzung stattgefunden, so dass heute praktisch jeder verkaufte Rechner hardwaremäßig dazu in der Lage ist, sehr komplexe 3D-Modelle mit hoher Qualität zügig darzustellen. Doch die neuen Schnittstellen erfordern geeignet aufbereitete 3D-Daten – Stichwort *level of detail* – die CAD-Systeme heute noch nicht bieten. Daher ist eine unter Umständen sehr aufwendige Vorverarbeitung notwendig, um die Interaktivität zu gewährleisten. Gleichzeitig wird damit (auf Datenformat-Ebene) die Verbindung zum CAD-System unterbrochen. Die Konsequenz ist, dass Änderungswünsche, die naturgemäß in der interaktiven 3D-Ansicht am besten zu beurteilen sind, nicht auf direktem Wege in das CAD-System zurückfließen können. Dieses Problem wird dadurch kompliziert, dass in der Regel nicht nur ein, sondern mehrere CAD-Systeme bei dem Entwurf eines Produktes, etwa eines Automobils, eingesetzt werden.

Die CAVE als ultimative 3D-Technologie

Genau hier setzt die Bedeutung der CAVE an: Keine andere Technik ermöglicht einen derart unmittelbar fühlbaren Raumeindruck. Jeder Mensch hat sein Leben lang Erfahrung damit, auf welche Weise Körperbewegungen, etwa ein Drehen des Kopfes, die eigene Sicht beeinflussen. Genau diese natürliche Erfahrung nutzt die CAVE aus, um mit dem eigenen Körpergefühl die Raumwahrnehmung zu unterstützen.

Die Summe der eingesetzten Mittel liefert daher einen Eindruck, der weit über die Ergebnisse hinausgeht, die man mit einzelnen Techniken erzielen kann:

- Stereoskopie
- Großbildprojektion
- *interaktive* 3D-Darstellung
- unter Einbeziehung der Betrachterposition und -orientierung, dem sogenannten *Tracking*

Diesen faszinierenden Möglichkeiten stehen jedoch ebenso fundamentale, zum Teil noch unge löste Fragen gegenüber. So treten die oben genannten Probleme beim Einsatz interaktiver 3D-Darstellung in einer CAVE natürlich in verschärfter Form auf. Beispielsweise stellt sich das Problem der Benutzerführung in ganz neuer Weise: Der Betrachter kann Objekte sehen, aber nicht berühren. Er hat zunächst keine Tastatur zur Verfügung. Und auch das Problem geeigneter grafischer Benutzerschnittstellen ist, da diese in hohem Maße von dem jeweiligen Einsatzgebiet abhängen, noch nicht in zufriedenstellender Weise grundsätzlich verstanden.

Auf der technischen Ebene gilt, dass Software für eine CAVE in der Lage sein muß, alle zur Darstellung verwendeten Rechner präzise zu synchronisieren, damit die beiden Bilder für rechtes und linkes Auge auf allen Projektionsflächen stets zusammenpassen. Dies trifft auf Standard-Software heute noch nicht zu. Stattdessen muß solche Software heute noch an jede einzelne CAVE speziell angepaßt werden.

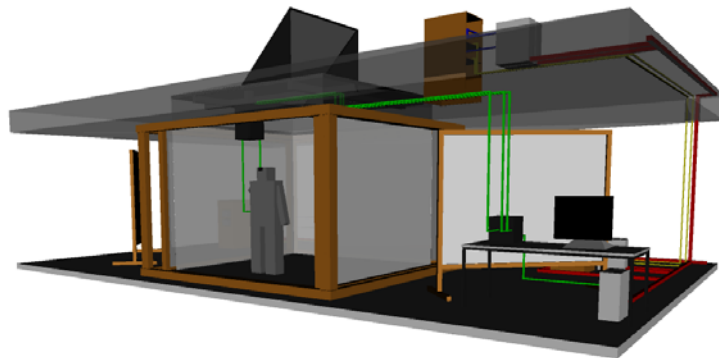
2 Die DAVE – eine innovative und 'affordable' CAVE

Die DAVE in ihrer momentanen Realisierung als vierseitige CAVE [4] besteht aus einem 3×3 m umfassenden Raum, der auf drei Seiten, und zwar Front, rechts und links, von Projektions-Leinwänden umgeben ist. Auf diese drei Wände und auf den Boden werden von außen bzw. von oben Bilder einer virtuellen Szenerie projiziert. Das Besondere dabei ist, dass diese Bilder genau passend zur jeweiligen Position des Betrachters generiert werden.

Auf diese Weise bekommt man als Betrachter den Eindruck vermittelt, man wäre komplett von einer simulierten Szenerie umgeben. Jede Änderung des Blickwinkels und jede Kopfbewegung werden dabei umgehend berücksichtigt und die simulierte Sicht augenblicklich neu berechnet.

Durch die Tatsache, dass der Betrachter von Projektionswänden *umgeben* ist, können erstaunliche Effekte erzielt werden. So kann man 3D-Objekte in der Mitte des Raumes scheinbar schweben lassen: Wandert der Betrachter um das Objekt herum, so wird es immer passend auf die Seitenwand projiziert, die vom Betrachter aus gesehen hinter dem schwebenden Objekt liegt. So kann es wirklich von allen Seiten aus betrachtet werden – und man kann buchstäblich den Kopf hineinstecken, etwa um das Innenleben eines räumlich komplexen 3D-Objektes zu begutachten.

Die Illusion ist dabei so perfekt, dass man häufig den Effekt beobachten kann, dass Leute den nur virtuell hineinprojizierten Objekten wirklich ausweichen, um sich nicht an ihnen zu stoßen.



2.1 Der Aufbau der DAVE

Die gesamte Konstruktion ist in einem Raum von ca. 63 Quadratmetern ($10,5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$) untergebracht. Zentral im Raum steht der Holzrahmen, in den die Projektionsleinwand eingespannt ist. Auf jede der vier Seiten scheinen von außen per sog. Rückprojektion jeweils zwei, also insgesamt acht, DLP-Digitalprojektoren. Zwei Projektoren pro Seite sind notwendig, um jeweils ein unterschiedliches Bild für das rechte und für das linke Auge zu erzeugen. Wegen der geringen Raumtiefe werden große Folienspiegel verwendet, um die notwendige Länge des Strahlwegs von ca. 6 m zwischen Projektor und Leinwand zu erreichen. Entsprechend wird die Projektion auf den Boden von oben durchgeführt: Durch ein Loch in der Decke scheinen die beiden Projektoren aus dem darüberliegenden Stockwerk horizontal auf einen Spiegel, der im 45 Grad-Winkel angebracht ist und das Licht nach unten auf den Boden wirft.

Der Betrachter trägt einen Hut, an dem ein elektromagnetischer Tracking-Sensor zur Bestimmung von Position und Orientierung befestigt ist. Aus den Sensordaten werden kontinuierlich die Raumpositionen der beiden Augen berechnet, wichtig für eine korrekte Projektion. Ein ähnlicher Sensor befindet sich in einem Maus-ähnlichen Eingabegerät, das, mit beliebigen Aktionen belegt, zur Interaktion mit der virtuellen Welt benutzt werden kann. Beide Sensoren sind Teil des Tracking-Systems *Flock of Birds* der Firma *Ascension*.

Die acht Projektoren werden von acht PCs getrieben, die von dem zentralen Dave-Server kontinuierlich mit den aktuellen Tracking-Daten versorgt werden. Jeder der identisch ausgestatteten acht Rechner führt dabei das gleiche Programm aus. Unterschiedlich ist jeweils nur die Sicht auf die Szene: Rechner dave1 berechnet das Bild für linke Seite/linkes Auge, dave2 für linke Seite/rechtes Auge, dann dave3/dave4 das Bild für linkes/rechtes Auge auf der Frontwand, und so weiter.

Die Herausforderung dabei liegt nun darin, dass das gesamte System die komplette Szene gemeinsam 30 – 50 mal pro Sekunde neu darstellen muß. Diese Aufgabe wurde in der DAVE zum ersten Mal auf eine völlig neue Art gelöst. Diese Lösung besteht darin, zwei voneinander getrennte Ebenen der Synchronisierung einzuführen:

- Die Synchronisierung der Projektoren bei der Bild-*Ausgabe* über einen externen Taktgeber
- Die Synchronisierung der Rechner bei der Bild-*Erzeugung* durch 100 MBit Standard-Ethernet

Während die Rechner-Synchronisierung somit weitgehend per Software bzw. per UDP-Broadcast erledigt werden konnte (die Netzwerk-Kabel sind in rot schematisch dargestellt), ist die Synchronisierung der Projektoren die eigentliche Schwierigkeit – denn dies ist bei DLP-Projektoren eigentlich gar nicht möglich.

Die Synchronisierung der Bildausgabe aller beteiligten Projektoren ist Vorbedingung für die *Aktive Stereoskopie*. Bei diesem Verfahren werden die beiden Bilder für rechtes und linkes Auge zeitlich hintereinander angezeigt: RLRLRL... Dabei müssen zum gleichen Zeitpunkt auf allen vier Leinwänden gleichzeitig nur die rechten oder nur die linken Bilder zu sehen sein. Denn der Betrachter trägt eine aktive *Shutter-Brille*, die von einem Infrarot-Signal gesteuert abwechselnd das rechte und das linke Auge abdunkelt. Dazu verwendet man in den Aktiv-Brillen LCD-Folien, die je nach angelegter Spannung durchsichtig oder undurchsichtig, d.h. schwarz werden.

Klassischerweise wird für Aktiv-Stereo eine hochwertige spezielle Grafikkarte verwendet, die in der Lage ist, schnell genug abwechselnd je ein rechtes und linkes Bild zu erzeugen und parallel dazu eine Shutter-Brille anzusteuern. Dies jedoch ist nicht möglich wenn ein DLP-Projektor zur Projektion verwandt wird.

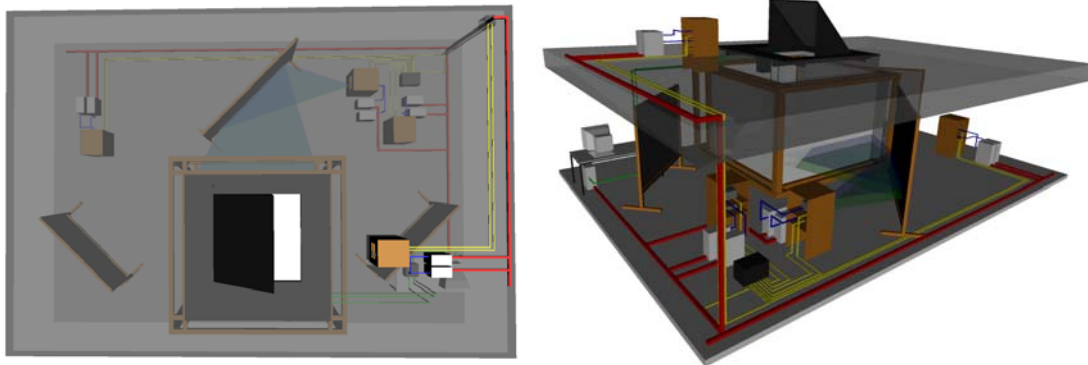
2.2 Kurzer Abriß über die Funktionsweise von DLP-Digitalprojektoren

Der Grund für diese Unmöglichkeit liegt in der Funktionsweise moderner Digitalprojektoren begründet. Die DLP (*digital light processing*) Technik beruht auf einem diffizilen Zusammenspiel von ca. 1 Mio. Mikrospiegel (einer für jedes Bildpixel) und einem Farbrad. Es enthält Filterfolien für die Grundfarben rot, grün, blau (und weiß) und rotiert mit einer konstanten Geschwindigkeit von 120 Hz. So bleibt für die Spiegelchen jeweils nur ein sehr kurzes Zeitfenster, um eine bestimmte Farb-Intensität zu erzeugen, indem sie sehr schnell (einige kHz) zu den jeweiligen Anteilen zwischen den beiden Zuständen Ein und Aus hin- und herflimmern.

Dies ist selbstverständlich nur möglich, wenn alle Teile im Projektor ein exaktes Timing einhalten. Daher ist die Farbrad-Frequenz festgelegt auf fix 120 Hz. Nun ist es aber sehr unwahrscheinlich, dass das Bildsignal von einer Bildquelle, etwa einem Videorecorder oder einem Computer,

mit genau den benötigten 120 Hz angeliefert wird. Daher enthält ein DLP-Projektor einen Bildpuffer, in dem ein zeilenweise ankommendes neues Bild erst einmal aufgesammelt wird. Das neue Bild wird jeweils alle 60stel Sekunde, d.h. nach genau 2 Umdrehungen des Farbrades, in den Anzeigepuffer kopiert.

Dies hat zur Konsequenz, dass die Bildwiederholrate, die beim PC eingestellt ist, zunächst überhaupt nichts mit der Wiederholrate zu tun hat, mit der die Bilder vom Projektor angezeigt werden. Diese ist stets 120 Hz, wobei ein Wechsel des Bildes nur 60 mal in der Sekunde möglich ist. Füttert man nun einen DLP-Projektor mit einem Aktiv-Stereo-Signal, erwischt dieser beim Füllen des Zwischenspeichers zufällige Teile des rechten und des linken Bildes, und das Resultat ist ein wirres Geflimmer.



2.3 Der Kern der technologischen Innovation

Die Grundidee der heute von digital IMAGE kommerziell angebotenen Lösung dieses Problems ist so genial wie einfach: Man macht sich zunutze dass DLP-Projektoren eben digital funktionieren. Daher besitzen sie einen internen Prozesstakt, der bei ca. 60 MHz liegt.

Dieser Prozesstakt wird nun "einfach" von außen zugeführt, gesteuert von einer zentralen Taktgeber-Elektronik: dem *Synchronizer*. Jeder Projektor erhält so seinen Systemtakt vom Synchronizer über ein spezielles Kabel, im obigen Diagramm gelb angedeutet. Damit laufen nunmehr alle acht Projektoren absolut präzise gleich, und zwar Farbrad-synchron.

Um nun abwechselnd rechtes und linkes Bild anzuzeigen, macht man sich zunutze, dass jedes Bild zwei Umdrehungen lang angezeigt wird, und dass eine Möglichkeit gefunden wurde, die Mikrospiegel eine Zeitlang zu deaktivieren. So wird während der ersten Umdrehung der eine Projektor für eine 120stel Sekunde auf schwarz geschaltet, und in der zweiten Umdrehung der zweite. Währenddessen zeigt der jeweils andere Projektor normal sein Bild an. Mit diesem Verfahren wird also die *Anzeige* des Bildes synchronisiert, und nicht wie herkömmlich die *Erzeugung* des Bildes.

Bisher bedingte eine Aktiv-Stereo-Projektion die Verwendung von speziellen Grafikkarten, die über ein sogenanntes *Genlock* verfügen. Dabei werden alle Bilderzeuger miteinander verbunden und generieren ihre Bildsignale genau zeilensynchron, mit denen dann wie beim Röhrenmonitor ohne Umweg direkt der Elektronenstrahl in der Bildröhre angesteuert wird. Dies ist aber aus den ausgeführten Gründen nicht mit DLP-Projektoren, sondern nur mit den veralteten Röhrenprojektoren möglich.

Dies ist der Grund für die Erneuerungsfreundlichkeit der DAVE: Heute wird der Markt der Highend-Grafikkarten etwa alle sechs Monate mit einer neuen leistungsfähigeren Modell-Generation beglückt – und jede neue Grafikkarte, selbst ein Standard-Modell aus dem Massenmarkt, kann in der DAVE verwendet werden. Es besteht nicht mehr die Notwendigkeit, in teure Genlock-fähige Grafikkarten zu investieren, die ohnehin nach kurzer Zeit wieder überholt sind.

2.4 Die DAVE als Forschungs- und Entwicklungsplattform

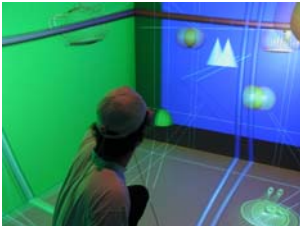
Die Überwindung der bereits angesprochenen und weiterer Hürden durch intensivere Forschung ist Vorbedingung für den industriellen Einsatz und eine kommerzielle Verbreitung der DAVE-Technologie. Nur so kann neben der finanzstarken Großindustrie, die CAVE-Technologie vereinzelt schon seit einigen Jahren einsetzt, der erheblich lukrativere – da bedeutend größere – Markt mittelständischer Unternehmen erschlossen werden. Dieser Kundenkreis wäre finanziell heute schon durchaus in der Lage, eine DAVE anzuschaffen, verfügt aber in aller Regel nicht über eine eigene Abteilung zur Software-Entwicklung, sondern ist auf die Verfügbarkeit geeigneter Anwendungen und Problemlösungen angewiesen. Damit diese im großen Maßstab entwickelt werden, sind zunächst einmal verbindliche Standards vonnöten, damit CAVE-Systeme ihr Nischen-Dasein beenden und als verlässliche Technologie anerkannt werden.

Um einen wirklichen Schritt voranzukommen, muß daher der Beweis erbracht werden, dass es industriell relevante Anwendungsgebiete gibt, in denen der Einsatz einer DAVE handfeste, finanziell bezifferbare Vorteile gegenüber alternativen Technologien bietet.

Es wird am Institut für ComputerGraphik bereits ein nicht unerheblicher Forschungsaufwand betrieben, um die damit verbundenen Fragen zu klären, wie die folgende Aufstellung von Beispielprojekten verdeutlichen mag.

Die Davelib

Sie ist die grundlegende C++-Bibliothek zum Betrieb der DAVE. Sie ermöglicht es, bestehende 3D-Anwendungen mit sehr geringem Aufwand auf die DAVE zu portieren. Im einfachsten Fall reicht es, lediglich zwei Programmzeilen in bestehende Programme einzufügen, um sie DAVE-fähig zu machen! Die Davelib bietet damit alle grundlegenden Software-Dienste für die Anwendungsentwicklung, und verbirgt sie für die bequeme Programmierung hinter einer sehr übersichtlichen Software-Schnittstelle:



- Netzwerk-Ebene zur Kommunikation zwischen Server und Clients
- Abfrage der Tracking-Daten: Betrachterposition und -orientierung
- Setzen der Abbildungs-Matrix für die aktuelle Sicht des Benutzers

OpenSG – Ein Open Source Szenengraph-API

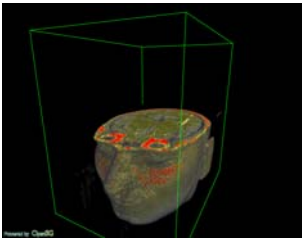
Das OpenSG-Projekt (www.opensg.org) liefert einen *Szenengraphen*, unabdingbare Voraussetzung für industrielle Entwicklung von 3D-Anwendungen, wo man aus Kostengründen nicht ganz tief auf der untersten Ebene (OpenGL) mit der Applikationsentwicklung beginnen kann. OpenSG bietet stattdessen einen objektorientierten Ansatz um 3D-Szenen auf einem hohen Abstraktionsniveau erstellen und verändern zu können, sowie weitreichende Import-Möglichkeiten für viele Datei- und Szenenformate, um die Kompatibilität mit bestehenden 3D-Anwendungen zu sichern.





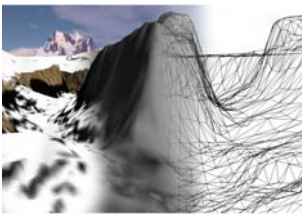
VRML-Viewer

Die *Virtual Reality Modeling Language* [6] ist, obwohl technisch überholt, nach wie vor ein wichtiges 3D-Austauschformat, das im Kern von der überwiegenden Mehrheit der 3D-Softwarepakete unterstützt wird. Dank der raschen Portierung des OpenGL-Systems auf die DAVE stand damit sehr schnell eine Applikation zur Verfügung, mit der beliebige VRML-Modelle in der DAVE betrachtet, durchwandert, und so neu erfahren werden können.



Wissenschaftliche Visualisierung mit OpenGL

In der Nuklearmedizin entstehen durch verschiedene Aufnahmeverfahren Volumendatensätze, die mit Methoden der ComputerGrafik dargestellt werden können. Das Ingenieurwesen produziert in noch größerer Vielfalt skalare und vektorielle Datensätze auf verschiedenen räumlichen Gittern. OpenGL liefert alle Grundbestandteile zur dreidimensionalen Visualisierung solcher Datensätze. Mit einem geeigneten Benutzer-Interface und durch die Integration von OpenGL mit der Standard-Software AVS/Express von *Advanced Visual Systems* steht diese *immersive* wissenschaftliche Visualisierung einem breiten Anwenderkreis zur Verfügung.



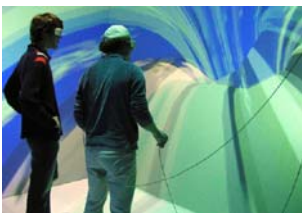
ROAM - Real-time Optimally Adaptive Meshes

ROAM [2] ist eine Technik um sehr große reguläre Gitternetze interaktiv zu visualisieren, wie etwa die viele Millionen Meßpunkte umfassenden geographischen Datensätze, die bei der heute eingesetzten digitalen Kartographie anfallen. Das resultierende Gitternetz wird zur Anzeige automatisch je nach Betrachterposition verfeinert oder vergrößert, um unnötige Polygone möglichst gar nicht erst an die Grafikkarte zu schicken. Mit großem Erfolg wird diese Technik bei der Darstellung von Landschaften eingesetzt, und sie ist unabdingbar für eine Städtevisualisierung und für Flugsimulatoren.



OpenNURBS-Viewer

Rhinoceros (www.rhino3d.com) ist ein industriell genutztes 3D-Modellier-Programm, das durchgängig auf Freiformflächen basiert. Die 3D-Objekte werden dabei durch die vor allem im industriellen Design benutzten NURBS-Flächen aufgebaut. Basierend auf der OpenNURBS-Bibliothek wurde ein neues Verfahren zur interaktiven Anzeige von Freiform-Modellen in der DAVE realisiert. Dies ist möglich, indem nur die jeweils zur Anzeige nötigen Flächen, abhängig von Betrachter-Standpunkt und -Orientierung, in einer dazu notwendigen Genauigkeit tesseliert, d.h. in Dreiecke zerlegt werden.



Architektur-Visualisierung

Die DAVE wird auch von externen Nutzern begeistert in Anspruch genommen. Architekturstudenten, etwa vom Institut für Städtebau der TU (Prof. Brederlau), konnten so ihre Semester-Entwürfe genau studieren und sich zum ersten Mal in die entworfenen Gebäude hineinversetzt fühlen. Dies gab umgekehrt auch eine Reihe von Impulsen, wie die Benutzerführung für untrainierte Nutzer verbessert werden kann. Außerdem hat sich ein Workflow ergeben, wie die in der Architektur erzeugten 3D-Modelle in die DAVE importiert werden können.



Untersuchung räumlichen Lernens

Kann der räumliche Aufbau realer Gebäude in einer virtuellen Umgebung erlernt werden? Diese Frage wurde in einer Diplomarbeit gemeinsam mit dem Fach Psychologie untersucht. Dazu wurden 60 Braunschweiger Feuerwehrleute in drei Gruppen aufgeteilt, die das Informatikzentrum anhand konventioneller Pläne, durch Er-Laufen, und eben virtuell in der DAVE kennenlernten. Die Arbeit gab wichtige Anhaltspunkte, wie die räumliche Orientierung durch geeignete grafische Methoden unterstützt werden kann.

Software-Entwicklungspraktikum: Java3D

Im Sommersemester 2003 haben 24 Studenten aus dem 3. Semester begeistert ihr Software-Entwicklungspraktikum in der DAVE absolviert. Dabei war die Aufgabe für die 4 Gruppen durchaus anspruchsvoll: Entwurf einer dreidimensionalen grafischen Benutzer-Schnittstelle auf Basis von Java3D [8]. Neben den z.T. überaus originellen Einfällen der Studenten war dabei sehr bemerkenswert, wie umfangreich die Ergebnisse der nur 12 Praktikums-Wochen waren – und das, obwohl die Grundstudiums-Studenten zuvor nicht mit dem Fach ComputerGrafik in Berührung gekommen waren. Das Engagement der Studenten ging in weiten Teilen über das Verlangte hinaus, weil bei ihnen ein gesunder Spieltrieb erwachte.



TRIPS: Surround-Sound in der DAVE

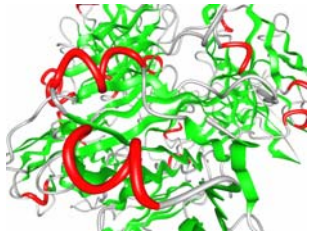
Die in der DAVE fehlenden haptischen Reize können zum Teil durch ein realitätsnahes Audio-System kompensiert werden – und zwar z.B. indem die Klangcharakteristik bestimmter Materialien oder der Form eines Raumes nachgeahmt werden. TRIPS [7], das zu diesem Zweck entwickelte Audio-System der DAVE, läuft dazu auf einem oder zwei separaten PCs, die mit dem DAVE-Server verbunden sind. Dieser generiert auf den Audio-Rechnern 3D-Sound-Objekte, die dann automatisch mit der Betrachterposition und der Szenengeometrie abgeglichen werden und einen passenden 3D-Klangraum schaffen. Die eigentliche Tonausgabe geschieht dabei über 5.1 Dolby-Surround-Systeme.



Quake III in der DAVE

Ein Ziel der Davelib ist, dass der Quellcode bestehender OpenGL-basierter 3D-Applikationen mit möglichst geringem Aufwand an die DAVE angepaßt werden kann. In beeindruckender Weise konnte dies mit dem 3D-Spiel *Quake III Arena* von id software (USA) [5] verifiziert werden. So ist das Spiel, dessen Quellcode im Internet frei verfügbar ist, in nur zwei Tagen auf die DAVE portiert worden. Seitdem ist es als Viewer für 3D-Gebäudemodelle im Einsatz, der eine hohe Interaktionsgeschwindigkeit mit exzellenter Darstellungsqualität vereint.





Molekül-Visualisierung

Die beeindruckende Raumwahrnehmung in der DAVE kommt besonders bei solchen Modellen zum Tragen, die eine komplizierte räumliche Struktur aufweisen: Hohlräume, Verzweigungen, und viele Verdeckungen. Daher ist sie geradezu prädestiniert für die Darstellung großer chemischer Moleküle und Molekülgruppen, wie sie gerade in der organischen Chemie Verwendung finden. In einem Kooperationsprojekt mit der Gesellschaft für biotechnologische Forschung (GbF) wurde vom Institut ein Verfahren entwickelt, wie die enormen Datenmengen, die bei einer interaktiven Visualisierung in jedem Zeitschritt zu verarbeiten sind, durch geeignete *level of detail*-Methoden blickpunktabhängig reduziert werden können.

3 Erfahrungen im Entwicklungsprozess

Es waren zum Teil erhebliche Anstrengungen nötig, um in den ersten acht Monaten des Probebetriebes die Fehler und Kinderkrankheiten der einzelnen Komponenten der insgesamt doch recht komplexen Installation auszumerzen. Dabei kam uns aber gerade die Modulbauweise der DAVE sehr entgegen: Fehlfunktionen blieben in der Regel auf einzelne Komponenten beschränkt.

So war zu Beginn das elektromagnetische Tracking das Sorgenkind. Es lieferte aufgrund des vielen Metalls im Stahlbeton unseres Raumes völlig falsche Ergebnisse, was erst durch eine geeignete Kalibrierung und Aufnahme von vielen Positions-Meßwerten behoben werden konnte. Das Ethernet-Netzwerk, mit dem die einzelnen Render-Clients verbunden wurden, mußte als eigenes Sub-Netz abgetrennt werden, um eine schnelle Kommunikation per UDP-Broadcast zur Rechner-Synchronisierung nutzen zu können. Einzelne Projektor-Paare überhitzten sich, da die Gehäuselüftung nicht für den Paar-Betrieb ausgelegt war; dies war zu beheben durch neuentwickelte Trage-Gestelle in Verbindung mit einer Klimatisierung des Raumes.

Auch die zweite Synchronisierungs-Ebene der DAVE, die Projektor-Synchronisierung, durchlief mehrere Stadien. Beispielsweise mußten wegen der großen Weglänge geeignete Kabel zwischen dem zentralen Synchronizer und den einzelnen Projektoren gefunden werden. Das Prototyp-Board des Synchronizers wurde durch ein professionell gefertigtes Board ersetzt, wodurch die Probleme mit instabilen Hochfrequenz-Signalen im Langzeitbetrieb behoben wurden.

Und schließlich mußten eigene leistungsfähige Infrarot-Emitter entwickelt werden, um die Steuersignale für das Schließen des rechten bzw. linken Glases der Shutter-Brille in hinreichender Stärke ausstrahlen zu können.

4 DAVE – Eine konkurrenzlose Technologie?

Unseres Wissens gibt es keine vergleichbare Lösung zur synchronisierten Erzeugung von Aktiv-Stereo-Signalen mit Digital-Projektoren, die kommerziell verfügbar wäre.

Gerade Aktiv-Stereo-Umgebungen werden heute noch zumeist mit analogen Röhrenprojektoren ausgerüstet. Neben Problemen wie Farbkonstanz und hohen Unterhaltskosten ist ein Hauptproblem, dass die Produktion solcher Geräte langsam aber sicher eingestellt wird, da sie praktisch überall durch die neuen digitalen Projektoren verdrängt werden.

Es wurden von wenigen Herstellern bisher einzelne Digitalprojektor-Modelle entwickelt, die sich für Aktiv-Stereo eignen. Die Firma *Christie Digital* etwa bietet einen aufwendigen Dreichip-DLP-Projektor an, der speziell für die Anzeige von Aktiv-Stereo-Signalen mit einer Bildwiederholffrequenz von 120 Hz (also 60 Hz pro Auge) entwickelt wurde. Allerdings liegt er zum einen in einer *deutlich* anderen Preiskategorie als ein Paar unserer umgebauten Projektoren, zum anderen gestattet diese Technik nicht die Synchronisation von mehreren Projektoren zur gemeinsamen Anzeige wie sie in einer CAVE notwendig ist.

Konkurrierende Technologien

Immersive VR-Systeme erfordern eine robuste stereoskopische Darstellung auf nicht nur einer, sondern mehreren Projektionsleinwänden, denn Ziel ist ja, das Sichtfeld möglichst vollständig abzudecken – im Idealfall etwa mit den sechs Seiten eines Würfels.

Um dies zu leisten, sind grundsätzlich mehrere Techniken denkbar. Man unterscheidet bei der Stereoskopie zunächst zwischen aktiven und passiven Techniken. Verfahren, die nicht mit einer (batteriebetriebenen) Shutterbrille, sondern mit passiven Filterfolien arbeiten, nennt man *passive* Stereoskopie-Techniken. Am weitesten verbreitet ist die Trennung der beiden Kanäle rechts/links durch Polarisierung des Lichts. Bei der *linearen Polarisierung* werden aber rechts und links vertauscht, wenn man z.B. den Kopf um 90 Grad zur Seite neigt. Und bei der alternativ verwendeten *zirkulären Polarisierung* treten in diesem Fall deutliche Farbverschiebungen auf, die Kanalzuordnung bleibt jedoch erhalten. Beide Techniken eignen sich daher nicht für immersive Anwendungen, wo sich der Betrachter frei bewegen darf, sondern finden eher Verwendung z.B. in Kinos.

Unser Hauptkonkurrent in dem Markt-Segment “Immersive VR-Systeme” ist eine andere passive Technik, das *Infitec*-Verfahren [3]. Es arbeitet mit Farbfiltern, die eine Kamm-artige Signatur haben: Aus dem einfallenden Licht werden bestimmte Farb-Anteile für das eine Auge herausgefiltert, und die dazu komplementären Anteile für das andere Auge. Diese Technik ist robust gegen Bewegungen des Betrachters. Prinzipbedingt gibt es jedoch leichte Farbunterschiede zwischen den Bildern für beide Augen, die unter bestimmten Umständen auch sehr störend werden können. Deshalb hat sich diese grundsätzlich vielversprechende Technik bisher nicht durchsetzen können.

Literatur

- [1] CRUZ-NEIRA C., SANDIN D. J., DEFANTI T. A.: Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the cave. In *Proceedings of SIGGRAPH 93* (Aug. 1993), Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 135–142.
- [2] DUCHAINEAU M., WOLINSKY M., SIGETI D., MILLER M., ALDRICH C., MINEEV-WEINSTEIN M.: ROAMing terrain: Real-time optimally adapting meshes. In *IEEE Visualization '97*. 1997, pp. 81–88.
- [3] H. J.: Infitec – Wellenlängenmultiplex Visualisierungssysteme, 2002.
- [4] HAVEMANN S.: Höhlenzeitalter. *iX Magazin für professionelle Informationstechnik* 2002, 11 (Nov. 2002), 249–258.
- [5] ID SOFTWARE: Quake III Arena. <http://www.idsoftware.com>, 2002. CAVE-adapted version available from <http://www.visbox.com/cq3a>.

- [6] ISO: *Information Technology – Computer Graphics – Virtual Reality Modeling Language (VRML 97)*, ISO/IEC 14772-1:1997, 1997. <http://www.vrml.org>.
- [7] NEUMANN T., FÜNFZIG C., FELLNER D.: TRIPS – a scalable spatial sound library for OpenSG. In *OpenSG 2003 – Concepts and Components of Software Frameworks for Interactive 3D Graphics* (2003), Reiners D., (Ed.), pp. 57–64. ISBN 3-905673-53-3, available from <http://diglib.eg.org>.
- [8] SUN MICROSYSTEMS: Java3D. <http://java.sun.com/products/java-media/3D>, 2000.