

Virtuelle Fabrikplanung in der 3D-CAVE (VIFA 3D)

Gemeinsamer Schlussbericht zum Projekt

Projektstart: 01. April 2011
Projektende: 31. Juli 2013

Prof. Dr. Meier - Institut für
Produktionsmanagement und Logistik
GmbH

Simplan AG



München, den 31. Oktober 2013

Inhalt

1 Aufgabenstellung.....	3
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	7
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	8
3.1 Projektionstechnik in der Cave	11
3.2 Benutzerschnittstelle in der Cave	15
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	17
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	21
6 Erzieltes Ergebnis in Gegenüberstellung zur ursprünglichen Planung	23
6.1 Darstellung der Projektionstechnik.....	25
6.1.1 Ausgangssituation	25
6.1.2 Neuaufbau der Cave	32
6.1.3 Vorteile der neuen Systemkonstellation	46
6.2 Aufnahme und Verarbeitung von Benutzereingaben.....	47
7 Voraussichtlicher Nutzen	54
8 Geplante wirtschaftliche Verwertung	56
9 Zusammenarbeit unter den Projektpartner	59
10 Ergebnisse der Unterauftragnehmer.....	60
11 Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen	61
12 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	64
13 Literatur	65

1 Aufgabenstellung

Das Projekt ‚ViFa 3D‘ konzentrierte sich auf den Prozess der virtuellen Fabrikplanung im Rahmen einer Cave. Bei einer Cave (Computer Automatic Virtual Environment) werden in einem dunklen Raum mehrere Projektionsflächen so um den Betrachter angeordnet und dimensioniert, dass dieser von der eigentlichen Umgebung nichts mehr wahrnehmen kann. Stattdessen registriert der Nutzer nur noch eine projizierte, künstliche erschaffene Umgebung, welche durch den Einsatz zusätzlicher Technologien ähnlich wie in bekannten 3D-Kinos räumlich erscheint.

Die Umsetzung des Projektes ‚ViFa 3D‘ verfolgte nachstehende Ziele:

- Es sollte ein flexibles System resultieren, welches durch die sinnvolle Kombination von Hard- und Software-Komponenten in der Lage ist, den umfassenden Anwendungsbereich der digitalen Fabrik- und Produktionsplanung in 3D abzudecken. Mit Hilfe dieser erweiterten Funktionalität sollte es ermöglicht werden, 3D-Caves nicht mehr länger nur zu Präsentations- und Visualisierungszwecken einzusetzen, sondern diese als interaktives Werkzeug zu nutzen.
- Eine innovative Methode im Rahmen der Fabrikplanung ist der Einsatz von Simulationssoftware. Aus diesem Grund wurde in dem Projekt das Ziel verfolgt, eine benutzerfreundliche Anwendung zu schaffen, die die 3D-Visualisierung, den Aufbau virtueller Szenen und die aktive Simulation direkt unterstützt. Dabei sollte keine komplett neue Softwarelösung zur Fabrikplanung entwickelt bzw. programmiert werden, sondern mehrere vorhandene Programme miteinander kombiniert bzw. integriert werden.
- Zur Vergrößerung des Einsatzbereiches war es die Vorgabe, auf bereits vorhandene Lösungen zurück zu greifen, leistungsstarke Schnittstellen zu externen Standard-Programmen (z.B. Datenbanken) zu schaffen und intuitive Eingabe-Möglichkeiten zu integrieren.

Um diese Ziele zu erreichen und um nachfolgend eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung auf dem Markt selbst für kleine und mittelständische Unternehmen anbieten zu kön-

nen, galt die Prämisse, weitgehend auf kommerziell verfügbare ‚low-cost‘-Komponenten zurückzugreifen. Als Entwicklungsumgebung konnte eine Cave der Hochschule München genutzt werden, welche diese Vorgaben ebenfalls erfüllt. Der prinzipielle Aufbau der Cave ist in Bild 1 dargestellt:

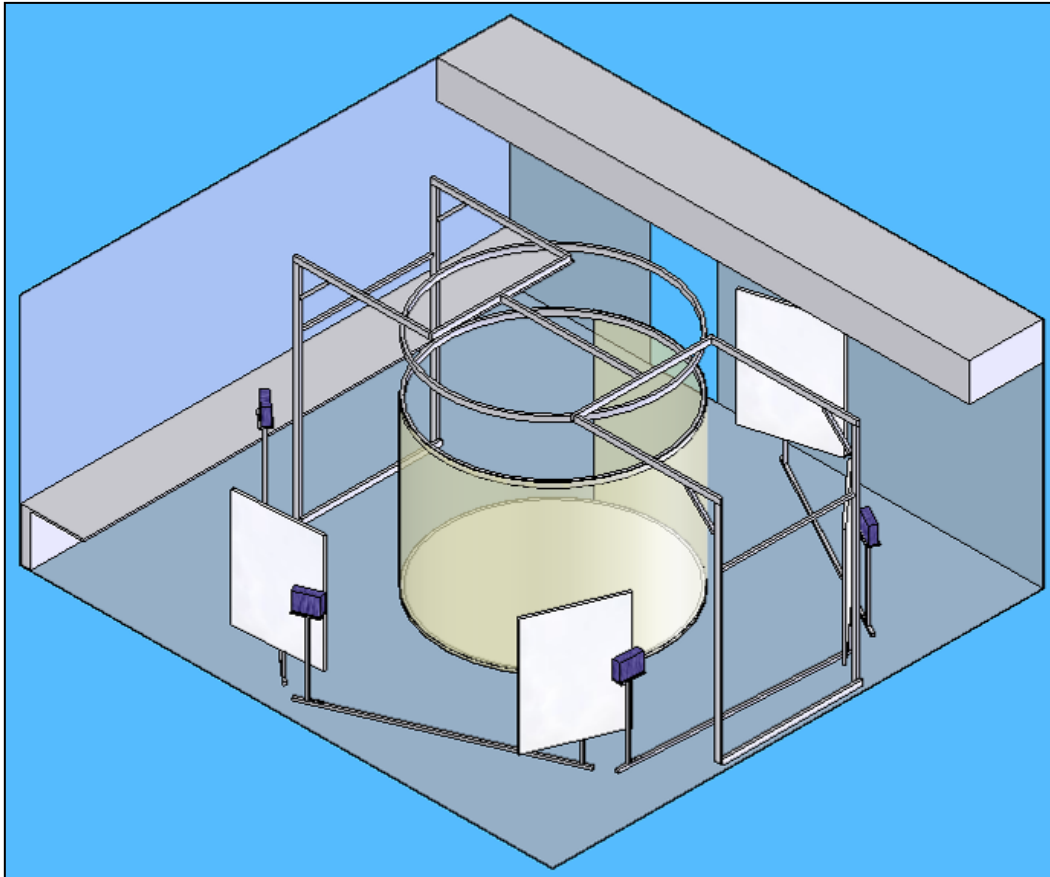


Bild 1: Caveaufbau der Hochschule München

Zudem wurde mit der Simulationssoftware ‚Sim3D‘ der Firma Emulate 3D Ltd. ein Simulationspaket ausgewählt, welches bereits zu Projektstart über eine 3D Darstellung verfügte.

Mit Abschluss des Projektes ‚Vifa 3D‘ sollte folgender Nutzen für potenzielle Anwender einer Cave erzielt werden:

Verkürzung der Planungsphase:

Durch Einsatz der Cave lassen sich nicht nur Fabrikumgebungen, sondern auch die darin ablaufenden Prozesse gestalten und 3-dimensional visualisieren. Damit steigt die Vorstellungskraft bezüglich noch nicht realisierter Planungsinhalte bei den Planern und insbesondere auch im Management. Planungsfehler werden frühzeitig aufgedeckt und können leicht beseitigt werden, noch bevor diese zu eventuell kostenintensiven Projektverzögerungen geführt haben.

Simulation und Online-Interaktion eines Fabrikbetriebs:

Gängige Praxis für die Absicherung operativer Leistungskennzahlen ist die Simulation der Fabrikabläufe. Zu diesem Zweck werden die Prozesse in der Cave dargestellt und versetzen den Betrachter in einen laufenden Fabrikbetrieb. Neben der beobachtenden Funktion erhält der Betrachter die Möglichkeit, in den Fabrikbetrieb aktiv eingreifen zu können. Dazu existieren zwei Ebenen:

- (1) online-Veränderungen am Simulationsmodell in der Cave,
- (2) Partizipation am Fabrikbetrieb und Eingriff in den Fabrikbetrieb (z.B. Bedienung einer Anlage oder Bearbeitungsreihenfolge).

Damit verliert die Cave auch hier den Charakter einer reinen Präsentationshardware und entwickelt sich weiter zu einem aktiven Werkzeug des operativen Fabrikbetriebs. Der Anwender wird in die Lage versetzt, sich ein Bild z.B. von einer Engpass-Situation zu machen und kann augenblicklich Anpassungen vornehmen. Die Cave erlangt damit eine zentrale Bedeutung im Rahmen der gegenwärtig von der Bundesregierung geförderten Initiative zur Industrie 4.0.

Optimierung von Arbeitssystemen (Zusammenspiel Schnittstelle Mensch-Maschine):

Menschliche Arbeitsabläufe lassen sich in konventionellen Fabriksimulationen nur abstrahiert nachbilden. Menschliche Verhaltensweisen sind geprägt durch nicht mathematisch nachvollziehbare Verhaltensmuster. Um das Zusammenspiel von

Mensch und Maschine vor der Realisierung einer Fabrik bereits austesten zu können, bietet sich mit der Cave erstmals die Möglichkeit, Arbeitsabläufe und Ergonomie an der Schnittstelle Mensch und Technik im virtuellen Raum gefahrlos zu überprüfen und zu optimieren. Systemtechnisch erfordert dies die Erweiterung des Simulationsmodells durch Integration des Menschen, welcher mit dem virtuellen Arbeitssystem interagiert.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Kombination der 3D-CAVE mit einer Simulationssoftware, so dass die Simulation interaktiv in der CAVE durchgeführt werden kann, stellt eine komplexe Aufgabe dar, welche bisher in dieser Form noch nicht untersucht worden ist. Die Lösung dieser anspruchsvollen Aufgabe bedurfte der Zusammenarbeit von geeigneten kompetenten Partnern. Daher arbeiteten im Rahmen dieses Projektes zwei einschlägig erfahrene Unternehmen zusammen, welche jeweils ihr Wissen und ihre Erfahrung einbrachten. Die SimPlan AG brachte ihre langjährige Erfahrung auf den Gebieten Modellierung und Simulation ins Projekt ein. Seitens des Instituts für Produktionsmanagement und Logistik GmbH wurde das Know-how über die CAVE, 3D-Technik und Simulation eingebracht.

Die Hochschule München wurde als Fremddienstleister zur Realisierung des Cave-Aufbaus und zur Untersuchung der realisierten systembezogenen Reaktionszeiten eingesetzt.

Wie bereits unter 1) erwähnt, galt als weitere Voraussetzung, dass ausschließlich kommerziell verfügbare Hard- und Software-Komponenten zum Einsatz zu bringen sind. Die Hardware umfasst dabei sowohl den Aufbau der Projektionsflächen, die eingesetzten Beamer und die IT-Architektur. Als Investitionsvorgabe für die Grafikkomponenten (Beamer, Grafikkarte, Treibersoftware) galt eine Obergrenze von ca. 10.000€. Hintergrund dieser Vorgabe war die anvisierte Zielgruppe. Die Cave soll später insbesondere als Lösung für kleine und mittelständische Unternehmen zur Verfügung.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Durchführung des Vorhabens wurden ursprünglich folgende Arbeitspakete formuliert:

AP1: Dokumentation

AP2: Analyse der Anforderungen

AP3: Pflichtenhefterstellung

AP4: Forschungs- und Entwicklungsarbeiten: Datenbankkopplung

AP5: Forschungs- und Entwicklungsarbeiten: 3D Realtime Darstellung und Simulation in der Cave

AP6: Forschungs- und Entwicklungsarbeiten: Online Interaktion und Mensch-Maschine Koppelung in der Cave

AP7: Systemintegration und Systemoptimierung

AP8: Feldtests

Daraus abgeleitet ergab sich nachstehender Projektbalkenplan. Projektstart war der 1. April 2011, geplantes Ende der 31. März 2013:

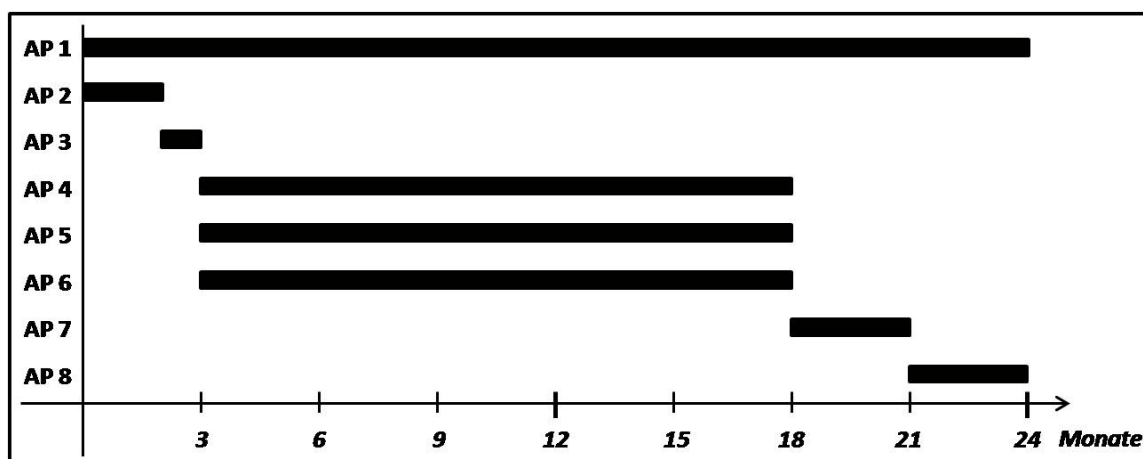


Bild 2: Ursprünglicher Projektbalkenplan gemäß Vorhabensbeschreibung vom März 2011

Die Arbeitspakete 1 bis 3 wurden, wie in der Vorhabensbeschreibung aufgeführt, bearbeitet. Die anderen Arbeitspakete wurden durch Probleme, welche nachstehend aufgeführt werden, verzögert.

Aus dem Arbeitspaket 2 ist insbesondere die Zusammenarbeit mit den Praxispartnern hervorzuheben. Zur Definition der Anforderungen wurden gewonnen:

Hörmann Logistik GmbH, Gneisenaustraße 15, 80992 München,

<http://www.hoermann-logistik.de>

Kurzvorstellung: Hörmann Logistik konzipiert und realisiert als Generalunternehmer individuelle Intralogistik-Systeme für Lagerlogistik, Produktionslogistik und Distributionslogistik. Seit über 20 Jahren setzen Hörmann als Komplettanbieter mit Fachwissen, Kreativität und Engagement Materialfluss-Lösungen für seine Kunden aus verschiedensten Branchen um. Neben individuellen Konzepten, innovativen Ideen und zukunftsorientierter Technik legt das Unternehmen größten Wert auf persönliche Betreuung und Zuverlässigkeit.

Dr. Schaab & Partner GmbH, Grubmühlerfeldstrasse 54, 82131 Gauting,

<http://www.dr-schaab.de/>

Kurzvorstellung: Seit 1982 hat Dr. Schaab & Partner GmbH über 540 Projekte für mehr als 180 Kunden erfolgreich abgeschlossen. Das Unternehmen ist darauf spezialisiert, Materialfluss-Systeme im laufenden Betrieb zu optimieren, aber auch neue Projekte auf der „grünen Wiese“ zu planen und zu realisieren. Produktivität und Prozesssicherheit sind dabei zentrale Kriterien. Dr. Schaab & Partner setzt dafür erprobte Methoden und effiziente Analyse- und Planungswerkzeuge ein.

Die Analyse der Kundenanforderungen nach dem Praxispartnertreffen hat ergeben, dass der Präsentationscharakter der 3D Simulation auch weiterhin wichtig ist, da es als Verkaufs- bzw. Überzeugungswerkzeug und zur Synchronisation von Teamarbeiten (vor allem das gemeinsame diskutieren am bzw. im Modell) verwendet werden soll. Zusätzlich soll die CAVE zur 3D-Visualisierung von Simulationen im Bereich der Produktion und der Logistik bzw. zur digitalen Fabrik- und Produktionsplanung eingesetzt werden. Die verschiedenen denkbaren Anwendungsfälle lassen sich dabei

grundsätzlich in zwei Bereiche unterteilen: Den Makro- und den Mikrobereich. Diese Bereiche und einige Anwendungsfälle werden im Folgenden beschrieben.

Unter dem Makrobereich wird in diesem Zusammenhang der Blick von „oben“ verstanden und somit muss der Detaillierungsgrad wesentlich geringer ausfallen, als bei der Mikroebene. Anwendungsbeispiele für den Makrobereich sind:

- die Fabrikplanung
- die Layoutplanung/ Layoutüberlegungen
- das Abbilden von komplexen Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Elementen / Ebenen (z.B. unterschiedliche Etagen)

Der zweite Anwendungsbereich ist der Mikrobereich, wobei hier viel Wert auf den Detaillierungsgrad gelegt wird. Beispiele für den Mikrobereich sind:

- mobile und feste Arbeitsplatzgestaltung in der Logistik und der Produktion
- das Abbilden von sicherheitstechnischen Aspekten wie Zutrittsverhinderung (z.B. bei Gefahrenbereichen) und Schutzmaßnahmen (die z.B. von Handwerkskammer erfordert werden). Dabei handelt es sich beispielsweise um
 - das Testen von Arbeitsbedingungen (z.B. Lautstärke, Bewegungen im Umfeld des Arbeitsplatzes)
 - das frühzeitige Erkennen von möglichen physischen Kollisionen (z.B. von Staplerfahren)
 - das Berücksichtigen von ergonomischen Gesichtspunkten (z.B. Anordnung des Arbeitsplatzes)

Diese zwei Bereiche unterscheiden sich insbesondere in der Darstellungsqualität, welche für die Mikroebene wesentlich höher sein muss als bei der Makroebene. Ein weiteres Unterscheidungskriterium dieser beiden Ebenen ist die unterschiedliche Distanz zum Betrachtungsobjekt (fern - Makroebene, nah / griffbereit – Mikroebene).

3.1 Projektionstechnik in der Cave

Probleme ergaben sich insbesondere bei der Bearbeitung des Arbeitspakets 5, welche auch Auswirkungen auf alle anderen verbleibenden Arbeitspakete (inklusive Arbeitspaket 4) nach sich zogen. Im Kern der Problemstellung stand die Ansteuerung der CAVE. Die existierenden Standard-Softwareprodukte, die für die Anwendung in einer CAVE konzipiert sind, sehen zwar die Ansteuerung von mehreren Beamern vor, jedoch erfolgt dies über Grafikkarten, die wiederum auf mehrere (Slave-) Rechner verteilt sind (vgl. nachstehendes Bild):

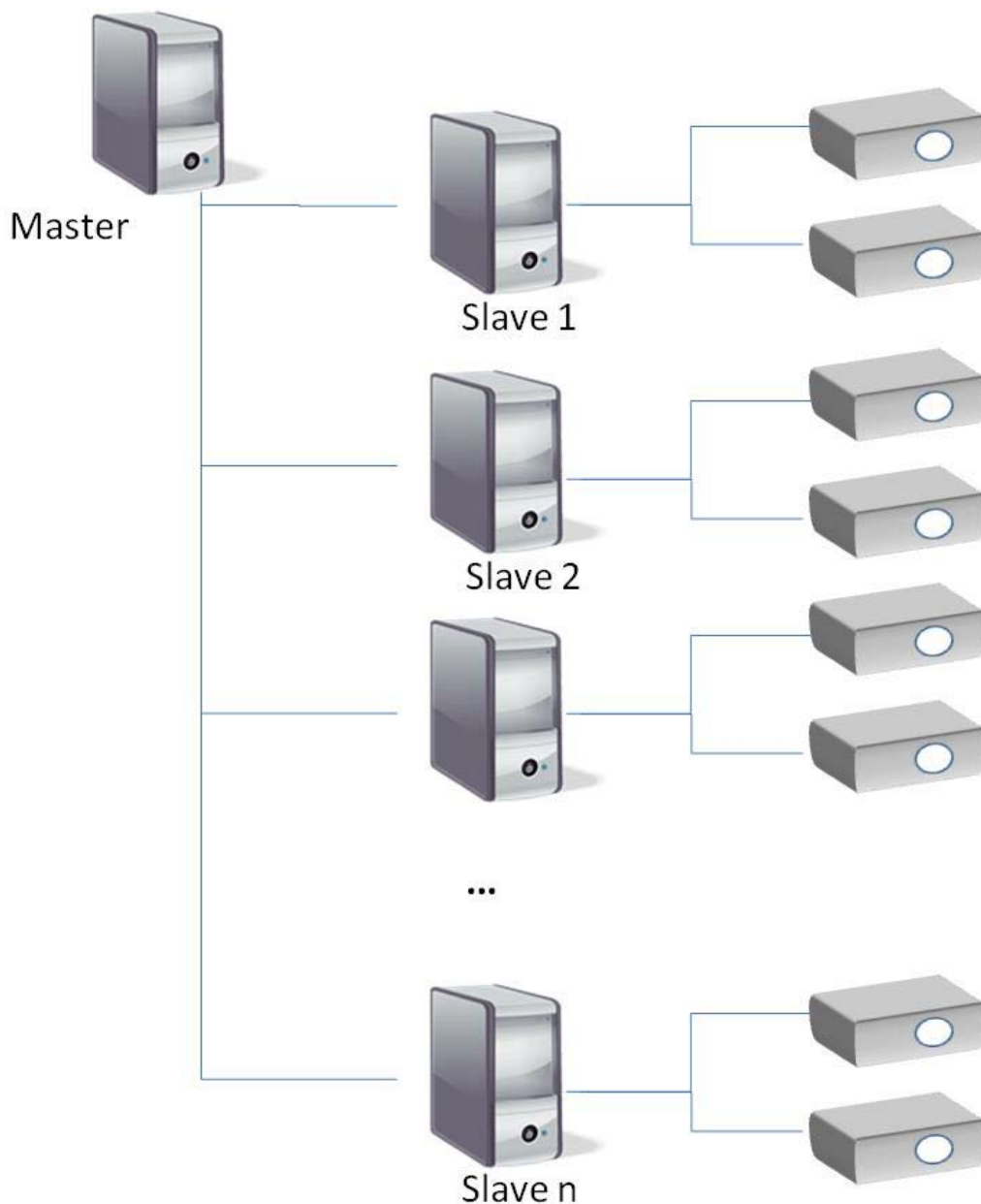


Bild 3: Konventionelles Rechnercluster zur Erzeugung eines zusammengesetzten Bildes in 3D-Caves

Hierzu wird die Software üblicherweise auf einem Master-Rechner installiert, von dem dann die nötigen Informationen an spezielle Slaverechner weitergegeben werden. Weiterhin besteht durch den zylindrischen Aufbau der CAVE die Anforderung, die Bilder zu krümmen, bevor Sie an die Beamer gesendet werden. Die vom IPL und der Hochschule München ursprünglich eingesetzte CAVE folgte diesem Aufbau hardwaretechnisch (vgl. Bild 1).

Die Simulationssoftware Sim3D des Herstellers Emulate 3D Ltd. ist jedoch nicht auf den Einsatz in einer solchen CAVE ausgelegt. Sie fordert die Bilderzeugung in einem zentralen Rechner. Es wurden daher mehrere (erfolglose) Versuche unternommen, diese Anforderungen über Anpassungen der Konfiguration zu erfüllen. Die Vorgehensweise bestand dazu in der Erzeugung nur eines einzelnen Bildes, welches den kompletten in der CAVE darzustellenden Bereich enthält. Dieses Bild sollte dann über einen Filter im Direct3D Modul der Systembibliothek DirectX mit der entsprechenden Krümmung versehen werden und danach über ein Hardwaremodul auf die unterschiedlichen Beamer aufgebrochen werden. Diese Umsetzung stellte sich als weder wirtschaftlich, noch technisch vorteilhaft heraus.

Als Alternative zu dem vorstehend beschriebenen Hardwaresplitting ergaben sich sogenannte „Quadro Plex“. Ein solcher Plex ist ein Verbund von Grafikkarten, der an einem Rechner zur Ansteuerung mehrerer Beamer genutzt werden kann. Die Plexes hätten damit zwar theoretisch das Problem der Grafikverteilung vom Master-System auf die Slaves gelöst, wären aber überverhältnismäßig teuer gewesen, wenn man alle sechs Beamer der CAVE über ein entsprechende System ansteuern möchte. Weiterhin zeigte sich die Simulationssoftware als sehr anspruchsvoll in Bezug auf die Hardware. Es war also fraglich, ob ein konventionelles Rechnersystem überhaupt in der Lage gewesen wäre, die Simulation und das Rendering gleichzeitig zu berechnen.

Da sich darüber hinaus die Anpassung der Hardware als kostspielig herausstellte und dabei jede dieser Lösungen auch nur eine eingeschränkte Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand versprach, wurden anstelle dieser, diverse Softwarelösungen untersucht.

Eine entsprechende Software sollte in der Lage sein, die CAVE ähnlich wie einen Hardwarebildschirm anzusteuern, um das Rendering der CAVE Darstellung weitestgehend von der eingesetzten Simulationssoftware zu abstrahieren. Dies hat den positiven Nebeneffekt, dass die Darstellung jeder 3D-basierten Software in der CAVE

problemlos möglich wäre. Damit könnte nicht nur eine Unabhängigkeit von diversen Änderungen seitens der Simulationssoftware erreicht werden, es wäre auch möglich weitere Produkte in der CAVE darzustellen, die nicht auf einen solchen Einsatzzweck ausgelegt sind. Hinsichtlich dieser Methode wurden daher ausführliche Recherchen angestellt. Die Recherche lieferte als bestmögliches Ergebnis ein am Markt verbreitetes Produkt mit der Bezeichnung TechViz XL. Dieser „Treiber“ wird an der Schnittstelle zwischen der eigentlichen Simulationssoftware und der Renderingbibliothek OpenGL eingesetzt, wodurch sich die gewünschte Abstraktion ergibt. Leider war es trotz langer und mühsamer Verhandlungen mit dem Hersteller und diversen Vertriebspartnern nicht möglich, den Preis für eine solche Lösung innerhalb des attraktiven Projektbudgets zu bringen. Neben sehr hohen Anschaffungskosten (alleine ca. 50.000 € für den Softwarebaustein) wären auch hohe laufende Kosten (ca. 8.000 € jährliche Lizenzkosten) notwendig gewesen. Darüber hinaus arbeitet die in diesem Projekt einzubindende Software Sim3D nicht mit der OpenGL Schnittstelle, sondern mit der alternativen DirectX Schnittstelle.

Die Programmierung der Funktionalität von TechViz LX in Eigenregie wäre im Rahmen des Projektes zeitlich und finanziell nicht durchführbar gewesen. Auch die Alternative, die komplette Software Sim3D auf eine andere Schnittstelle zu portieren, wären so kostspielig gewesen, dass der Simulationssoftware-Hersteller Emulate 3D diese Möglichkeit ausschloss.

Bedingt durch die beschriebenen Probleme ergaben sich Verzögerungen in der Bearbeitung der Arbeitspakete. Dies machte eine (finanziell neutrale) Verlängerung der Projektlaufzeit um 4 Monate erforderlich. Der prinzipielle Projektverlauf konnte jedoch gemäß der Vorhabensbeschreibung eingehalten werden. Der Projektabschluss erfolgte zum 31. Juli 2013.

Das nachstehende Bild 4 zeigt den Aufbau in der Cave der Hochschule München nach Abschluss der Arbeiten:

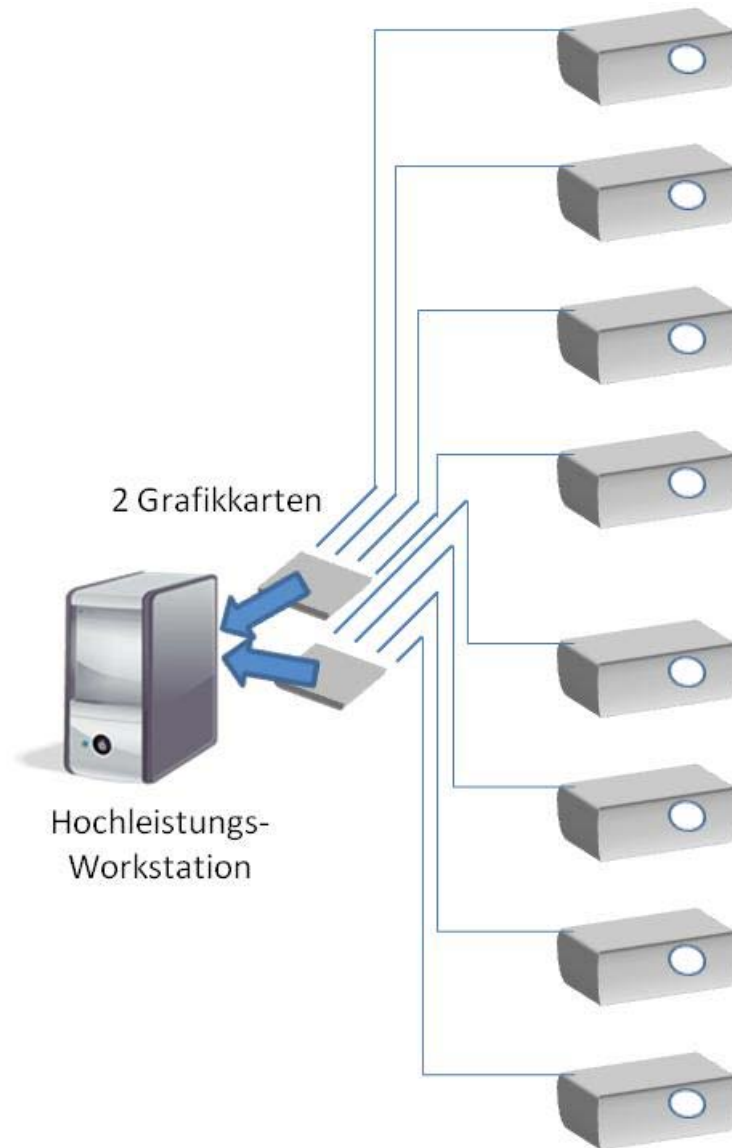


Bild 4: Schematischer Aufbau der Projektionshardware in der 3D-Cave in der Hochschule München nach Projektabschluss

Die nun zur Anwendung kommende Architektur der 3D-Cave besteht aus einer einzelnen Hochleistungs-Workstation, die mit Hilfe von zwei Hochleistungs-Grafikkarten, acht Projektoren ansteuern kann. Dadurch ergeben sich einerseits wesentlich niedrigere Anschaffungskosten und geringerer Betriebsaufwand. Andererseits lässt sich durch die Bereitstellung der Standardschnittstellen WMI, DirectX und OpenGL jede

auf Windows basierende oder durch Virtualisierung ausführbare Benutzeranwendung in der Cave darstellen.

Diese als Nachfolger der „Quadro Plex“ initiierte Grafiklösung wurde durch ihre vielfältigen Anschlussmöglichkeiten und den wesentlich niedriger angesetzten Verkaufspreis (Anschlussmöglichkeiten/Euro) zu der optimalen Wahl der Technik. Erst durch den technologischen Fortschritt und dem damit verbundenen Preisverfall wurde diese Architektur für das Projekt verfügbar. Durch die erst im 4. Quartal 2012 auf dem Markt erhältliche Technologie konnte dieser Ansatz wieder in Angriff genommen und nun erfolgreich umgesetzt werden.

Als wesentlicher Vorteil erweist sich die ausschließliche Nutzung von Standardprogrammen. Diese erlauben einerseits den kostengünstigen Nachbau der Cave, andererseits ermöglichen Sie die Darstellung beliebiger Inhalte in 3D, wenn diese durch eine Endanwendung über die standardisierten stereo 3D Schnittstellen wiedergegeben werden. Damit resultiert zukünftig ein Einsatzbereich der Cave, der weit über die zu Projektbeginn definierten Anforderungen hinausgeht.

3.2 Benutzerschnittstelle in der Cave

Im Bereich der Interaktion des Benutzers mit der CAVE hat sich das anfängliche Konzept der Bedienung im Laufe des Projekts nicht wesentlich verändert. Die internen Abläufe und Lösungen dagegen wurden mehrfach neu strukturiert um jeweils neue Erkenntnisse einzuarbeiten und die Flexibilität und Erweiterbarkeit der entwickelten Software sicherzustellen.

Anfänglich war geplant, das Benutzerinterface innerhalb von Sim3D in Form einer DLL zu laden, also kein eigenständiges Programm zu nutzen. Dies hätte den Vorteil gehabt, dass die Installation des Benutzerinterfaces durch eine Kopie der DLL und Öffnen eines vorbereiteten Modells erledigt wäre. Der Nachteil der Lösung ist jedoch, dass die GUI sehr stark mit Sim3D verzahnt wäre und eine Darstellung auf einem anderen System unmöglich wäre. Aus diesem Grund wurde entschieden, das Benutzerinterface als eigenständige Anwendung zu entwickeln.

In einem dritten, größeren Schritt, wurde die Anwendung für die Benutzereingabe dann noch in mehrere Anwendungen aufteilt. Dies hatte den Vorteil, dass die Anwendungen für sich weniger komplex und damit besser wart- und erweiterbar wurden.

Zusätzlich können einzelne Anwendungsteile ausgetauscht werden, um unterschiedlichste Ein- und Ausgabeformen für die Benutzerinteraktion zu ermöglichen. Dies macht es weiterhin möglich, Teile der entwickelten Logik zu nutzen, um Mensch-Maschine-Schnittstellen zu schaffen, über die der Mensch zum Bestandteil der Simulation werden kann.

Die Aufteilung in mehrere Anwendungen führt natürlich dazu, dass bei Nutzung der CAVE mehrere Anwendungen gestartet werden müssen. Dieser Nachteil fällt jedoch nicht ins Gewicht, da sich der Start der Anwendungen gut automatisieren lässt.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In der Industrie finden immer mehr Benutzerprogramme zur Planung, Konstruktion und Simulation mit drei-Dimensionaler Darstellung Anwendung. Für dieses Medium benötigt man allerdings entsprechende Ausgabegeräte, wie beispielsweise Head-Mounted-Displays, Powerwalls und Caves.

Die erste Cave¹ („Computer Automatic Virtual Environment“) wurde 1992 auf der Siggraph vorgestellt. Seit dem wurden viele verschiedene Varianten entwickelt.

Gemeinsam haben alle Cave Systeme, dass der bzw. die Benutzer von mehreren Wänden bzw. einer mehr oder weniger stark gekrümmten Wand mit Projektionen umgeben sind. Diese Projektionen können 2-dimensional oder 3-dimensional sein.

Die 3D-Technologien haben in den letzten Jahren viel Auftrieb bekommen. Unter anderem hat sich die Technologie in diesem Bereich weiterentwickelt. Somit ist die verfügbare Hardware immer besser und teilweise auch günstiger geworden.

Simulationen sind aus dem Bereich der Prozess- und Fabrikplanung nicht mehr wegzudenken. Ebenso ist es mittlerweile üblich, die CAD Daten in 3D zu betrachten.

Meist jedoch geschieht dies auf einem Computerbildschirm oder, falls vorhanden, auf einer Power Wall.

Da sich bisher das fachliche Know-How in diesem Bereich auf eine kleine Anzahl an Anbieter beschränkt, liegen die Anschaffungskosten für eine VR-Cave-Anwendung meist bei über 500.000 €². Im Rahmen eines vorangegangenen Projekts vom IPL in Zusammenarbeit mit der Hochschule München entstand eine funktionsfähige VR-Cave³ (vgl. Bild 1), deren Anschaffungspreis unter 100.000 € liegt. Als weiteres Alleinstellungsmerkmal besitzt diese Cave eine zylindrische Projektionsleinwand und bietet so ein optisch deutlich ansprechenderes Ergebnis, als die sonst angebotene Würfel-Form, da keine physischen Ecken das virtuelle Bild stören.

Angesteuert von einem Cluster, bestehend aus vier Hochleistungs-Graphik-Workstations, projizieren insgesamt sechs Projektoren auf einer Fläche von über 20m² um den Betrachter herum ein echtes, dreidimensionales Bild. Die sogenannte aktive Stereo-Projektion, eine Weiterentwicklung der bekannten 3-D-Kino-Systeme, erzeugt eine realitätsnahe räumliche Illusion, die den Anwender in die geplante Welt regelrecht eintauchen lässt.

¹ Siehe <http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/> (Seite zuletzt aufgerufen November 2013)

² Vergleichbare Cave-Modelle von Konkurrenzanbietern, wie z.B. imsys, 3Dims

³ Die dazugehörige Bauanleitung findet sich unter: www.i-p-l.de/download/Cave_Bauanleitung.pdf

Die bei Start des Forschungsprojektes verwendete Software basierte auf einem Client/Server System, bei dem mehrere Benutzer Anwendungen zur synchronisierten Darstellung einer Szene genutzt werden. Dies war zu diesem Zeitpunkt die einzige Möglichkeit, die geringe Leistungsfähigkeit und Anschlussmöglichkeiten einer einzelnen Workstation zu umgehen. Diese Konstellation bringt allerdings auch wesentliche Nachteile mit sich. So muss eine Anwendung, bevor sie in einem sog. Grafikcluster dargestellt werden kann, sehr aufwändig angepasst werden.

Zum Zeitpunkt des Projektstarts gab es keine günstigere Lösung, um ein, auf einem System berechnetes Stereobild mit Hilfe von sechs Projektoren darzustellen.

Als Simulationssoftware wird nun Sim3D eingesetzt. Es stellt derzeit die innovativste, ereignisdiskrete Simulationssoftware für Produktions- und Logistikprozesse dar. Die Software wurde auf Basis der Microsoft .Net Technologie entwickelt und eignet sich deshalb besonders für individuelle Erweiterungen und Anbindungen an Fremdsysteme. Die Programmstruktur in einzelnen Bausteinen und die Möglichkeit während der Simulationsläufe interaktiv in das Modell eingreifen zu können, qualifizierte die Software umso mehr für den Einsatz in diesem Forschungsprojekt.

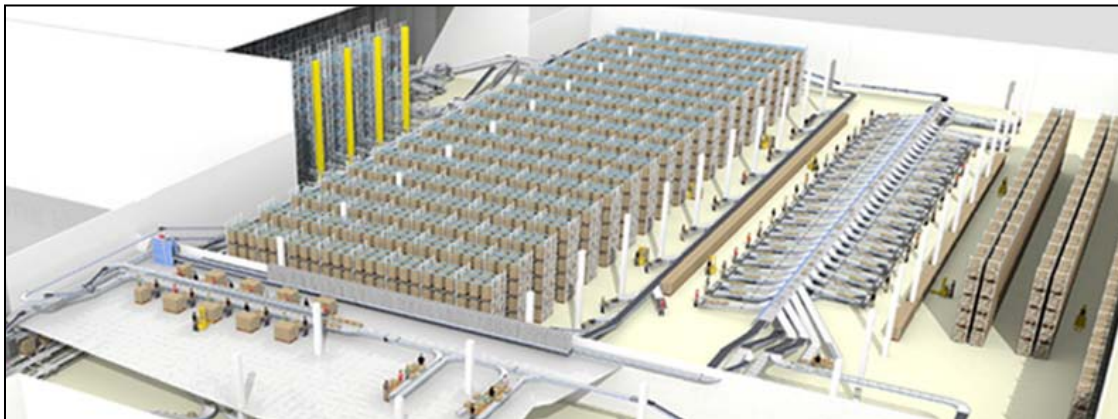


Bild 5: Beispielgrafik aus einem Planungsprojekt unter Einsatz von Sim3D⁴

Bis zum heutigen Zeitpunkt gibt es keine marktverfügbare, standardisierte Lösung für eine interaktive Steuerung während eines Simulationsdurchlaufs. Alle auf dem Markt verfügbaren Caves dienen der Präsentation von vorher erzeugten Medien und 3D Szenen. Ein direktes Eingreifen in das Geschehen ist nicht möglich.

Aus dem Jahr 2010 bekannte Anbieter im Bereich der virtuellen Technologie sind:

Barco (Belgian American Radio Corporation): Eine belgische Firma, die hauptsächlich Anzeigenmonitore, Projektoren, Multi-Projektor-Displays, Videowände, LED-

⁴ S. <http://demo3d.de/galerie.html>

Lösungen, Beleuchtungsprodukte, Bildbearbeitung, Software, Sensoren, Server und Workstations vertreibt.

Imsys (immersive systems): Eine Firma in Baden-Württemberg, die hauptsächlich einseitige VR-Systeme vertreibt. Auf Anfrage sind auch mehrseitige Systeme möglich.

Digital image: Eine Firma in Nordrhein-Westfalen, die die DAVE vertreiben. Das ist eine standardisierte Cave, die industriell gefertigt wird. Leinwandflächen jeder Seite haben eine Standardgröße von 2,5 auf 2,5 m. Es wird nur die Hardware ohne Rechner und Software angeboten.

Viscon: Eine Firma in Nordrhein-Westfalen, die hochwertige Projektions- und Medientechniklösungen anbieten.

3dims: Eine Firma in Hessen, welche freie Mitarbeiter in München beschäftigt. Sie bieten verschiedenste VR-Lösungen. Portable und stationäre Systeme, Spezialdisplays, tageslichtfähige VR-Lösungen, Systeme für Filme und Museen. Bei den stationären Systemen bieten sie auch eine kostengünstigere kubische dreiseitige Cave an, die jedoch ohne Computer und Software angeboten wird und deshalb unter 100.000 € liegt.

Icido: Eine Firma in Baden-Württemberg, mit Zweigstellen in Darmstadt, Hamburg und den USA. Sie bieten vor allem produktspezifische Anwendungen der VR-Technologie und die dazugehörige Hardware an.

Realicon: Eine Firma in Hessen, die Hersteller von VR-Software ist und neben Dienstleistungen auch die notwendige Hardwarekonfiguration mit anbietet.

Mechdyne (USA): Mechdyne hat sich bei Displaysystemen auf große Displays spezialisiert. Bietet Software-Lösungen, unterschiedlichste Displays und Beratung und Planung an.

Die nachstehende Tabelle 1 zeigt eine zusammenfassende Gegenüberstellung der Wettbewerber. Demgegenüber betragen die Kosten der an der Hochschule München genutzten Cave ca. 100.000 €.

Firmenname	Preise und Kommentare
Barco	Ab 1Mio. €
Imsys	Ab 300.000 € (3 Seiten), Software exklusive
Digital image	Nur Hardware (ohne Rechner und Software); Der Preis liegt bei ca. 200.000 €
Viscon	Ab 300.000 €
3dims	Über 200.000 € (Angebot für Projektionsfolie und passiv Stereo-Beamer allein 87.000€, zuzüglich Planung, Installation, Transport mit 10.000€, ohne Computer und Software)
Icido	Softwarehersteller; Aber kann auch Hardware bereitstellen: 500.000 – 750.000 €
Realicon	Softwarehersteller; kann auch Hardware liefern; keine Angabe zum Preis, aber kann mit icido verglichen werden
Mechdyne (USA)	Ca. 500.000 €

Tabelle 1: Zusammenfassender Vergleich der Angebote ausgewählter VR-Caves

Hieraus ergibt sich eindeutig, dass es Konkurrenz im Bereich der VR-Lösungen gibt, sie jedoch angesichts der hohen Preise für KMU nicht erschwingliche Lösungen anbieten.

Da die Ausrichtung der Caves zum Zeitpunkt des Projektstarts ausschließlich auf der Visualisierung zu Marketing- und Verkaufszwecken lag, gab es keinen einzigen Anwendungsfall mit einer Cave zu Planungszwecken. Insbesondere Fabriksimulationen beschränkten sich bei 3D-Darstellungen auf handelsübliche Monitore. Bezüglich der Kombination Simulation und Cave konnten keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen nachgewiesen werden.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit unter den Partnern Simplan AG und dem Institut für Produktionsmanagement und Logistik GmbH bearbeitet. Unterauftragnehmer war die Hochschule München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ergab sich darüber hinaus die Zusammenarbeit mit folgenden Organisationen:

Zur Herleitung der Anforderungen an eine 3D-Cave wurde – wie bereits oben beschrieben - ein Arbeitsteam mit Experten aus dem Bereich der Fabrikplanung gegründet. Das Team bestand neben den Projektpartnern aus Vertretern der Firmen Hörmann Logistik GmbH sowie Dr. Schaab & Partner GmbH. Beide Firmen werden nachstehend nochmals kurz vorgestellt:

**Hörmann Logistik GmbH, Gneisenaustraße 15, 80992 München,
<http://www.hoermann-logistik.de>**

Kurzvorstellung: Hörmann Logistik konzipiert und realisiert als Generalunternehmer individuelle Intralogistik-Systeme für Lagerlogistik, Produktionslogistik und Distributionslogistik. Seit über 20 Jahren setzen Hörmann als Komplettanbieter mit Fachwissen, Kreativität und Engagement Materialfluss-Lösungen für seine Kunden aus verschiedensten Branchen um. Neben individuellen Konzepten, innovativen Ideen und zukunftsorientierter Technik legt das Unternehmen größten Wert auf persönliche Betreuung und Zuverlässigkeit.

**Dr. Schaab & Partner GmbH, Grubmühlerfeldstrasse 54, 82131 Gauting,
<http://www.dr-schaab.de/>**

Kurzvorstellung: Seit 1982 hat Dr. Schaab & Partner GmbH über 540 Projekte für mehr als 180 Kunden erfolgreich abgeschlossen. Das Unternehmen ist darauf spezialisiert, Materialfluss-Systeme im laufenden Betrieb zu optimieren, aber auch neue Projekte auf der „grünen Wiese“ zu planen und zu realisieren. Produktivität und Prozesssicherheit sind dabei zentrale Kriterien. Dr. Schaab & Partner setzt dafür erprobte Methoden und effiziente Analyse- und Planungswerkzeuge ein.

Mit Festlegung auf das 3D-fähige Softwarepaket Sim3D kam als weiterer Projektpartner das Unternehmen **Emulate 3D Ltd.** mit Stammsitz in Farmington, UT 84025, USA, hinzu. Das Unternehmen ist Hersteller der genannten Simulationssoftware Sim3D und unterstützte das Projekt durch Bereitstellung von vergünstigten Softwarelizenzen sowie durch punktuelle Anpassungen der Software an die Erfordernisse aus dem Forschungsprojekt. Im Rahmen von Telefonkonferenzen lieferten die Experten von Emulate 3D wertvolle Unterstützung bei der Implementierung der Software in der 3D-Cave sowie bei der Integration der drahtlosen Steuerung für den Cave-Anwender. Die zum Einsatz kommenden Grafikkarten stammen von dem Hersteller **Nvidia GmbH**. Obwohl es sich um marktgängige Produkte handelt, war deren Integration von zahlreichen Schwierigkeiten geprägt, die sich nur in direkter Zusammenarbeit zwischen den Entwicklern von Nvidia und IPL lösen ließen.

Zwei weitere Software Pakete mit dem Namen „Immersive Display Pro“ und „Calibration Pro“ wurde von **Fly-Elise N.G.** aus den Niederlanden bereitgestellt. Diese Anwendungen sorgen für eine verzerrungsfreie Darstellung der Szene sowie das komplexe Überblenden der einzelnen Projektionen. Da es bislang nur wenige Anwender der Software gibt, profitierte das Unternehmen ebenfalls durch die Zusammenarbeit. So konnten einige Programmierfehler erkannt und beseitigt werden. Die entstandene Cave dient dem Unternehmen als Referenzinstallation.

6 Erzieltes Ergebnis in Gegenüberstellung zur ursprünglichen Planung

Wie in Kapitel 4 bereits beschrieben, resultierte aus den Problemstellungen in der Projektionstechnik ein gegenüber dem Projektstart veränderter Aufbau der Cave-Hardwarelandschaft. Die in dem Projekt angestrebte Funktionalität der Cave kann nun aber in vollem Umfang bereit gestellt werden.

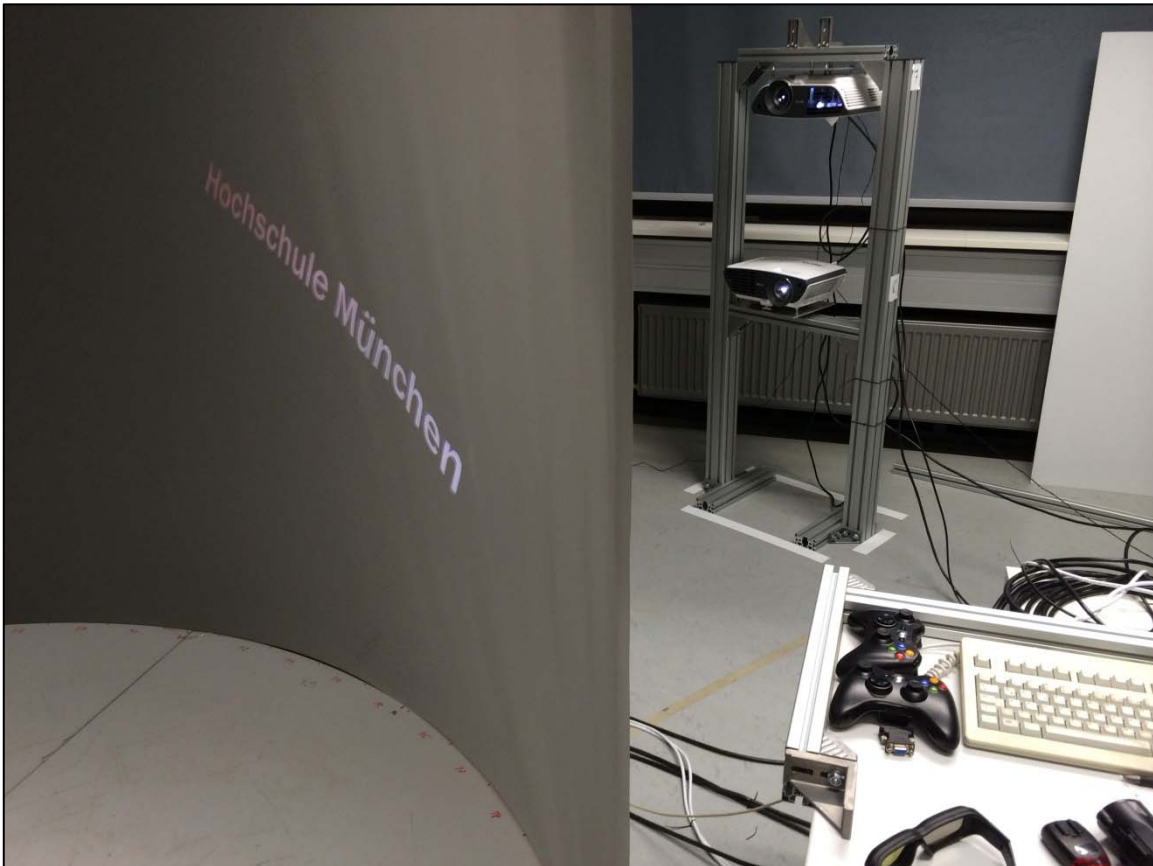


Bild 6a: Blick hinter die Projektionsfolie nach Projektabschluss

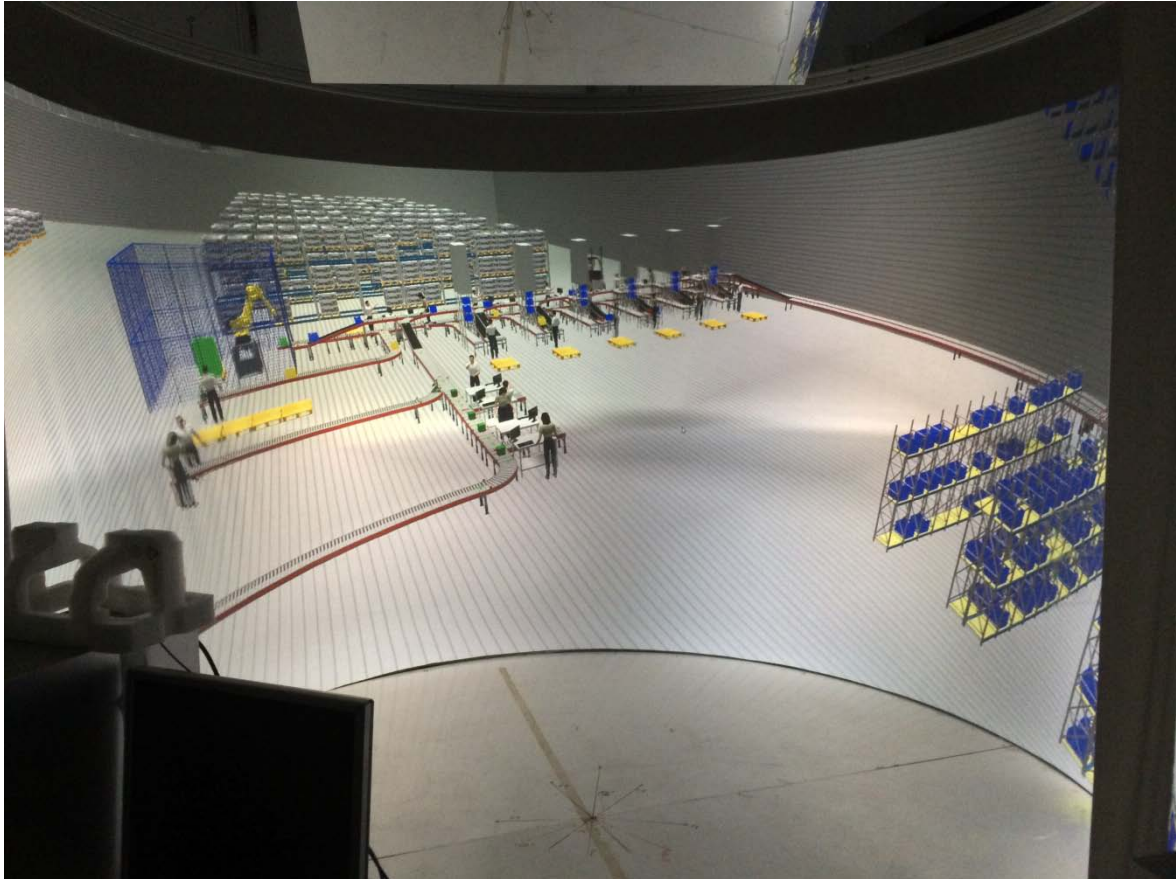


Bild 6b: Finales Ergebnis nach erfolgreicher Hardware- und Software-Kalibrierung

Folgende Projektpunkte wurden erfolgreich abgeschlossen:

- Aufbau der Cave als interaktives Planungswerkzeug für die digitale Fabrik- und Produktionsplanung.
- Aufbau einer Benutzerschnittstelle zum interaktiven Einsatz einer Simulationssoftware in der Cave.
- Ausschließliche Nutzung von Standardprogrammen, -protokollen und –schnittstellen zur Vergrößerung des potenziellen Einsatzbereiches der Cave über die Fabrikplanung hinaus.

Im Folgenden werden die Ergebnisse in den Teilbereichen Projektionstechnik und Benutzerschnittstelle zur besseren Transparenz getrennt voneinander dargestellt. Zur Gewährleistung des vollen Funktionsumfangs ist jedoch die enge Integration der beiden Teilbereiche zwingend erforderlich.

6.1 Darstellung der Projektionstechnik

Zum erfolgreichen Erreichen der Projektziele war es erforderlich, die Leistungsfähigkeit deutlich zu steigern. Die zu Projektbeginn vorhandene Cave erlaubte es zwar, statische Modelle in 3D darzustellen, zur Wiedergabe von Simulationsabläufen musste jedoch ein vollständig neues Hard- und Softwaresystem geschaffen werden. Die nachfolgende Beschreibung erläutert die Problemstellungen mit der Ausgangssituation und stellt die nunmehr vorliegende Cave-Lösung gegenüber.

6.1.1 Ausgangssituation

Die an der Hochschule München aufgebaute Cave konnte in ihrem ursprünglichen Zustand zur Darstellung von, zuvor in ein Standardformat (VRML) konvertierte, 3D Objekten und Szenen genutzt werden. Hierfür wurde eine auf dem Markt erhältliche Software verwendet, die ursprünglich für die stereoskopische Darstellung auf Monitoren verwendet wurde und für die Nutzung in der Cave um einige dafür notwendige Funktionen erweitert wurde.

Für den Betrieb einer Cave war es von Anfang an notwendig, ein sehr hoch aufgelöstes Bild für die Projektion zu erzeugen, was für die damals erhältlichen Workstations eine zu hohe Leistungsanforderung zur Folge gehabt hätte. Noch dazu war es zum damaligen Zeitpunkt nicht möglich, mehr als zwei Projektoren von einem physikalischen Computer aus anzusteuern, so dass es notwendig wurde diese Aufgabe auf mehrere Workstations zu verteilen.

Zu diesem Zweck wurde für die vorhandene Software eine Schnittstelle entwickelt, die es dem Programm ermöglichte, die Positionsdaten zwischen mehreren Instanzen des Programms auf unterschiedlichen Workstations zu synchronisieren. Für eine korrekte Darstellung auf der Projektionsoberfläche war es außerdem erforderlich, die Grenzen zwischen zwei Projektionen zu definieren und eine ordentliche Überblendung durchzuführen. Des Weiteren mussten die geometrischen Eigenheiten der Projektionsoberfläche durch eine Verzerrung des Projektionsbildes korrigiert werden. Bild 7 zeigt einen Blick in die Cave und deren Bildqualität zu Projektbeginn.



Bild 7: Blick in die 3D-Cave der Hochschule München zu Projektstart im Jahr 2011

Diese Lösung war für den damaligen Einsatzzweck der Cave vollkommen ausreichend, konnte allerdings nicht für die weitere Umsetzung der im Forschungsprojekt aufgeführten Ziele genutzt werden. Folgende Problemstellungen bestanden:



Bild 8: Darstellung mit Verzerrungskorrektur Überblendung/Maskierung

- Die zur Anwendung kommende Software erlaubte nicht die Erweiterbarkeit zu Simulationszwecken.
- Die eingesetzte Hardware entsprach nicht mehr dem neuesten Stand der Technik und wurde aus diesem Grund von einigen Herstellern nicht mehr unterstützt.
- Die Schnittstellen zur Simulationssoftware Sim3D konnten nicht bedient werden.

Die Ausgangssituation in Bezug auf die Simulationssoftware und die zur Verfügung stehende Hardware werden nachstehend im Detail dargestellt.

6.1.1.1 Simulationssoftware

Bei „Sim 3D“ handelt es sich um eine 32-bit Windows Anwendung mit der Darstellungsebene auf Basis von DirectX 9. Für die Darstellung der 3D Szene wurde von dem Entwicklerteam ein frei erhältliches und durch die Open Source Community gepflegtes Standard Framework mit dem Namen „DX-Slim“ eingesetzt. Da es sich bei diesem Framework um ein sehr abstrahiertes System der Grafikdarstellung handelt, musste von Beginn an mit Einschränkungen in der Versatilität der Grafikausgabe und Eingriffen in derselben gerechnet werden. Dies hat sich nach Rücksprache mit dem Hersteller von „Sim 3D“ bestätigt. Eingriffe in den Grafikpfad der Endanwendung waren daher durch IPL nur sehr begrenzt möglich. Zum Erreichen der Zielsetzung des Forschungsprojektes wäre damit ein hoher Entwicklungsaufwand auf Seiten des Herstellers erforderlich geworden.

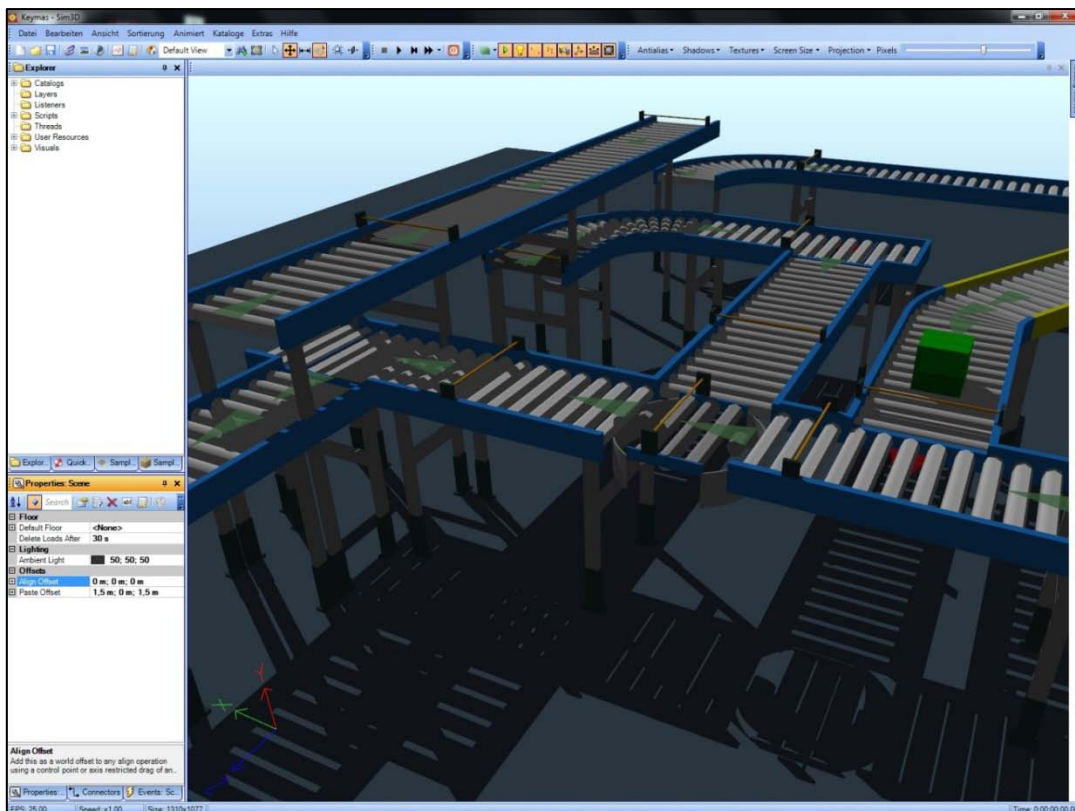


Bild 9: Übersicht über das Interface von „Sim3D“

Eine stereoskopische 3D Darstellung wurde von „Sim 3D“ selbst nicht zur Verfügung gestellt, jedoch wurde eine von NVidia für den Consumerbereich entwickelte Technik

namens „3D Vision“ für die 3D stereoskopische Darstellung getestet und implementiert.

Außerdem brachte „Sim 3D“ zu Beginn keine Möglichkeit zur Synchronisation mehrerer Instanzen mit sich, so dass eine Darstellung mit Hilfe von mehreren Workstations nicht möglich gewesen wäre.

6.1.1.2 Hardware

Der vorhandene Grafikkcluster bestand aus vier Workstations mit NVidia Quadro FX 4600 Grafikkarten, die jeweils zwei der Projektoren ansteuern konnten. Zur Synchronisierung der Projektionsbilder diente ein Framelock/Genlock System von NVidia. Jede auf den Workstations installierte Anwendung konnte über ein via Netzwerk transportiertes Signal synchronisiert werden.



Bild 10: Anschlüsse eines Rendering Slaves des zuvor genutzten Grafikkclusters

Als Projektoren waren speziell auf stereoskopische Projektionen ausgelegte analoge 120 Hz Projektoren der Firma InFocus vorhanden. Vier der vertikal montierten Beamer dienten zur „rundum“ Projektion während zwei weitere Beamer für die Bodenprojektion verwendet wurden.



Bild 11: InFocus DepthQ, shutterfähiger 120Hz Projektor

Für die stereoskopische Darstellung wurden NuVision Shutter Brillen der Firma MacNaughton Inc. eingesetzt. Der IR-Sender dieser Shutterbrillen verfügt über einen Standard 3-Pin Din Stereo Stecker und konnte so direkt an dem Framelock Master betrieben werden.



Bild 12a: Shutter-Brillen „NuVision“



Bild 12b: IR-Sender „NuVision“

Für Usereingaben war eine Funkmaus, eine schnurlose Tastatur sowie zwei Nintendo Wiimotes vorhanden. Dabei wurden die Wiimotes mit einem einfachen Treiber als HID-konforme Eingabegeräte betrieben.



Bild 13: Usereingabegeräte zu Projektstart

6.1.2 Neuaufbau der Cave

Wie beschrieben, boten sowohl Hardware als auch Software für die direkte Implementierung nicht die ausreichende Kompatibilität, so dass in dem folgenden Lösungsansatz zwar das Grundgerüst der Cave weitestgehend erhalten blieb, jedoch durch die durchgeführten Änderungen von einem neuem System die Rede sein kann.

Um alle im Forschungsprojekt angestrebten Ziele zu erreichen musste zunächst ein Weg zum erfolgreichen Betrieb der Software in der vorhandenen Cave gefunden werden. Während der Projektlaufzeit wurde nach weiteren Softwarepaketen für den Betrieb einer Cave recherchiert. Die gefundenen Lösungen konnten jedoch meist wegen ihres hohen Anschaffungspreises und aufwändigen Anforderungen an Wartung und Hardware nicht für KMU und den laufenden Betrieb an der Hochschule München in Betracht gezogen werden. Die Software musste folgende Anforderungen erfüllen:

- Als Grundvoraussetzung galt es, eine Vollbilddarstellung einer auf DirectX (9.0c) basierenden Benutzer-Anwendung mit Hilfe von mehreren Projektoren auf der Projektionsoberfläche verzerrungsfrei darzustellen.

- Weiterhin musste eine Lösung zur Erzeugung der 3D-stereoskopischen Darstellung gefunden werden. Die dazu nötigen Softwarekomponenten sollten möglichst kostengünstig sein.

Während der Rechercharbeiten wurden auch die aktuellen Technologien und deren Weiterentwicklung aktiv verfolgt, so dass sich im 3. Quartal 2012 eine finanziell attraktive Alternative aus dem Consumerbereich als mögliche Lösung der bisherigen Probleme anbot.

6.1.2.1 Historie der 3D stereoskopischen Darstellung

Die 3D stereoskopische Darstellung ist kein junges Thema. Die ursprüngliche Idee stammt von Sir Charles Wheatstone, der bereits die stereoskopische Methode im Jahre 1838 entdeckte und sie zur effektvollen Präsentation von Landschafts-, Stillife- und Peoplefotografie einsetzte. Diese Technik wird auch heute noch in den weit verbreiteten „View-Master“ Produkten eingesetzt.

Für eine stereoskopische Darstellung ist es notwendig, für das linke und rechte Auge eine leicht in der Parallaxe verschobenes Bild einer Szene zu erzeugen und diese zwei Bilder jeweils nur für das richtige Auge sichtbar zu machen.

Stereoskopie in der Computertechnik wird zunächst Mitte der 90er für die Spieleindustrie entdeckt, verliert jedoch bald an Anhängern. Einerseits da es für PC Spiele - Produzenten sehr aufwändig ist eine stereoskopische Darstellung zu erzeugen, als auch andererseits die Leistungsfähigkeit damaliger Personal Computer nicht für eine kontinuierliche Berechnung von 40-50 Doppelbilder in der Sekunde ausgelegt waren. Die erfolgsversprechende Idee greift das Produkt Wicked 3D um 1998 auf, welches ein standardisiertes System für PC Spiele für die stereoskopische Darstellung bietet. Über die Jahre hinweg hat sich die Idee weiterentwickelt. Während viele Produzenten von Hard- und Software weiterhin auf die selbstständige Erzeugung beider Doppelbilder setzen, gibt es auf der anderen Seite sog. „3D Treiber“, die 3D Daten, die eine standardisierte Schnittstelle zur Darstellung nutzen, in zwei automatisch berechnete Bilder aufteilt. Diese Bilder werden anschließend mit Hilfe von sogenannten Shutterbrillen für das jeweils richtige Auge sichtbar gemacht.

Aktuelle Ansätze verfolgen in den meisten Fällen die des „universellen Treibers“, der sich zwischen standardisierten Schnittstellen und der Hardware Abstraktionsschicht befindet und für die Berechnung der korrekten Bilder verantwortlich ist.

Dennoch existieren auch weiterhin Schnittstellen, die dem Benutzer-Programm die nötige Freiheiten lassen, um diese Synchronisation und Erzeugung der Einzelbilder selbstständig durchzuführen.

6.1.2.2 3D stereoskopische Darstellung in der Cave

NVIDIA bietet ca. seit dem Jahr 2001 eine Weiterentwicklung des Produkts Wicked 3D unter dem Namen „NVIDIA 3D Vision“ an. Für professionelle Anwendungen wurde diese Treiberfunktion auch in die Produktreihe „NVIDIA-Quadro“ aufgenommen. Für die Darstellung eines Benutzerprogramms auf mehr als zwei Projektoren gibt es von NVIDIA die Produktreihe „Quadro Plex“. Dies sind externe Grafiklösungen, die es ermöglichen, mehrere Monitore oder Projektoren an einer Workstation anzuschließen. Eine weitere Funktion eines „Quadro Plex“ ist „SLI Mosaic“, das eine zusammengesetzte Ausgabe an mehreren Anschlüssen ermöglicht. Neueste NVIDIA Quadro Karten gestatten es nun, bis zu acht Projektoren an einer Workstation anzuschließen und gleichzeitig alle Funktionen der bisherigen „Quadro Plex“ nutzen zu können. Die für den Consumermarkt entwickelte Erweiterung namens „3D Vision“, die auch unter dem Namen „3D Surround“ bekannt ist, bietet zudem eine automatische Berechnung der für eine stereoskopische Darstellung nötigen Bilder. Aufgrund von Einschränkungen bei der Nutzung der Shuttertechnik ist es nicht möglich, die Anzeigegeräte um 90° zur horizontalen Normalposition zu drehen. Dies hängt mit den in den Shutterbrillen verwendeten LC-Schichten zusammen. Da ein LC (siehe LCD) mit linearen Polarisationsfiltern arbeitet und diese ebenfalls in heute gängigen TFT-Monitoren Verwendung finden, hätte eine 90° Drehung zueinander das Sperren beider Polfilter zur Folge. Dies hatte zur Folge, dass der bisherige Cave-Aufbau mit vier vertikal montierten Projektoren nicht weiter verwendet werden konnte (siehe auch Kapitel 6.1.2.3).

Für den Betrieb und Einsatz der neuen Generation von Quadro Karten müssen zertifizierte Workstations zum Einsatz kommen. Nur so kann ein voller Funktionsumfang garantiert werden.

Als Nachteil erwies es sich jedoch, dass die Grafikkarten vom Typ Quadro K5000 lediglich einen analog fähigen Ausgang besitzen. Für den Betrieb der bisherig rein analogen Beamer hätten deswegen sehr teure und fehleranfällige digital-zu-analog Adapter zum Einsatz kommen müssen. Da in dem, inzwischen sehr aufwändigen System auf die Signalzeiten zwischen Shutterbrillen Synchronisation und realem Bildwechsel geachtet werden musste, wurde auf eine aufwändige und teure Konver-

tierung der Signale verzichtet. Die bislang analogen Beamer wurden gegen digitale Projektoren aus dem Heimkino-Bereich ausgetauscht, die auch eine sinnvolle zukunftssträchtige Investition für die weitere Entwicklung der Cave sein sollten.



Bild 14/15: „3D Vision“-Glasses & USB IR-Sender

Bei der Wahl der Shutterbrillen ist man bei der Nutzung von „3D Vision“ keinen besonderen Beschränkungen unterworfen. So könnten prinzipiell die bisherigen Shutterbrillen weiterverwendet werden.

6.1.2.3 Änderungen an der Konstruktion

Durch die in vorstehendem Kapitel angesprochenen Punkte musste ein Teil der Cave den neuen Bedingungen angepasst werden. Nachstehendes Bild zeigt den veränderten Cave-Aufbau:

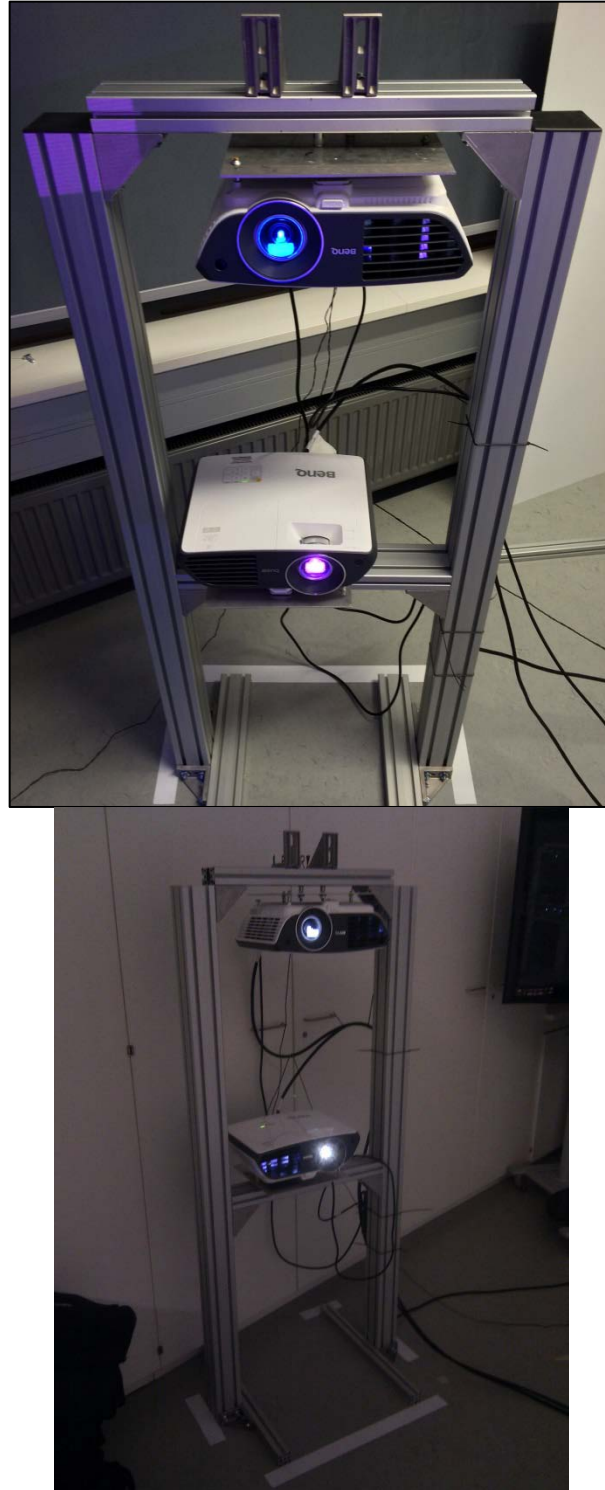


Bild 16/17: Neue „Beamer Brücke“ zur Projektion von ¼ der Rundum-Projektion

Durch die vorgeschriebene horizontale Positionslage der Projektoren wäre nur circa ein Viertel des projizierten Bildes eines einzelnen Beamers tatsächlich auf der Projektionsoberfläche nutzbar gewesen. Die damit verbundene Reduzierung der vertikalen Auflösung hätte ein weitaus schlechter aufgelöstes Bild zur Folge gehabt, wie es bisher der Fall gewesen wäre. Aus diesem Grunde musste für eine vollständige vertikale Projektionshöhe die Kombination aus zwei Beamern gewählt werden, um eine sinnvolle Pixeldichte auf der Projektionsfläche zu erreichen.

Da durch technischen Fortschritt die Preise von Kurzdistanz Projektoren sehr stark gefallen sind, wurde auf diese Technik gesetzt. Dadurch wurden die bisher für den langen Projektionsabstand benötigten „Spiegel“ überflüssig und die Gesamtkosten für den Neubau einer Cave abermals gesenkt. Die aus weiteren Überlegungen entstandene Projektoren-Brücke wurde, wie die bisherige Lösung, als vier Säulen um die Projektionsoberfläche angeordnet.

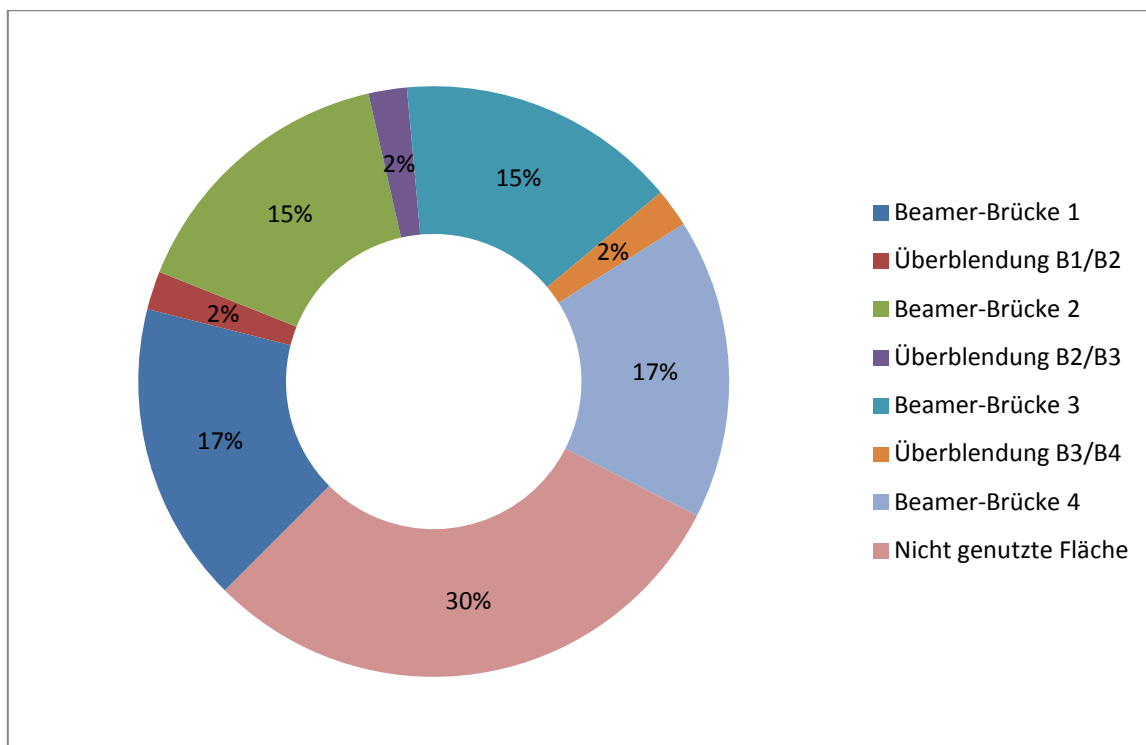


Bild 18: Übersicht der errechneten optimalen Positionierung der Projektionen

Zur genauen Positionierung diente eine konstruierte Vorlage, die sich an variablen Parametern orientierte.

Aufgrund der Eigenschaften der Projektionsfolie und der Aufhängungskonstruktion existiert keine perfekt zylindrische Projektionsoberfläche. Die hieraus entstehende komplex geometrische Anordnung lässt sich nicht anhand von fixen Parametern nach einer vorgegebenen Formel berechnen, sondern muss für jede Situation speziell an den existierenden Umständen angepasst werden.

Die Hardware Kalibrierung hilft ein möglichst gleichmäßiges Bild pro Projektionssäule zu erzeugen und man versucht hiermit die produktionsbedingten Unregelmäßigkeiten der Projektoren auszugleichen. Für die korrekte Kalibrierung der Säulen, muss jede einzeln an dem für die vorhergesehenen Ort eingemessen werden. So können leichte Höhenunterschiede des Bodens eine durchaus sichtbare Größe sein. Um für die anschließende Software-Kalibrierung eine möglichst gute Vorgabe zu liefern wurden alle Säulen mit Hilfe einer Laserwasserwaage ausgerichtet.

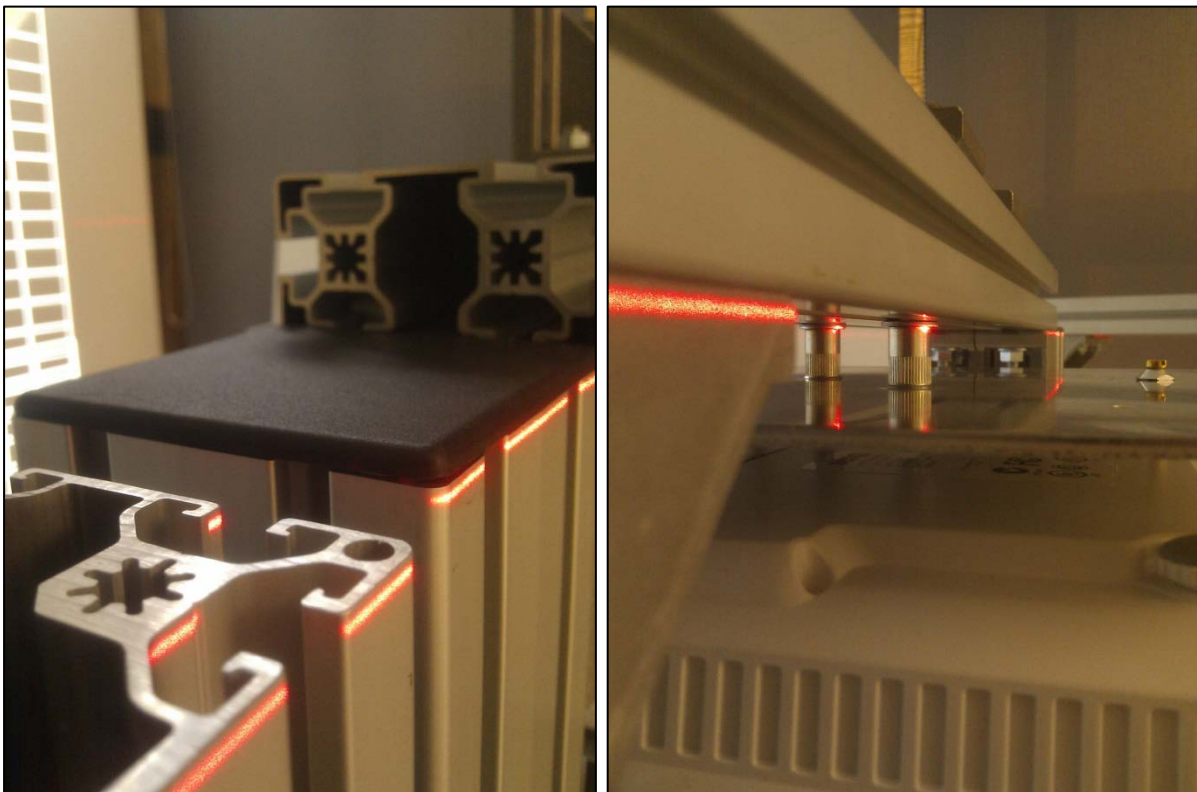
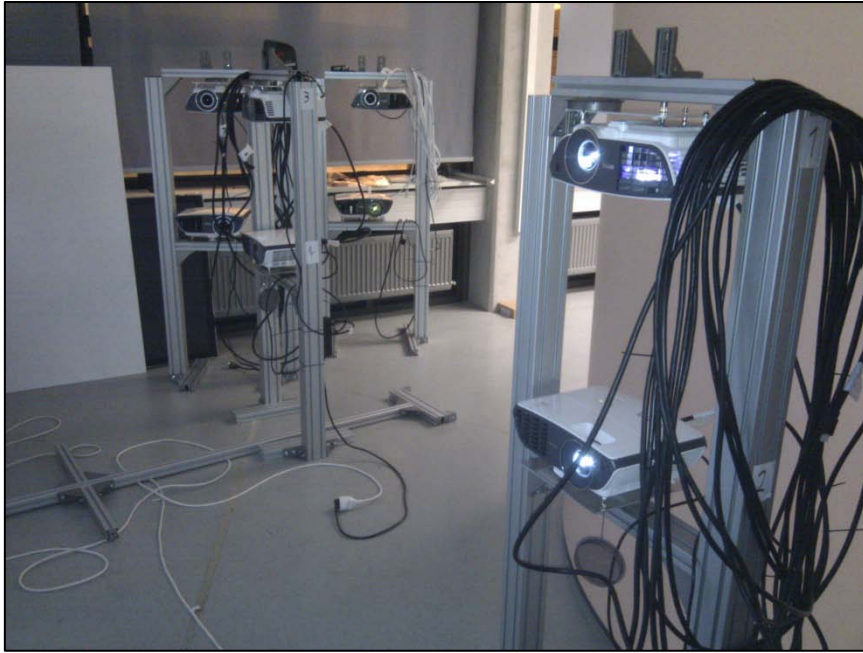


Bild 19/20: Höhenunterschied vor und nach dem initialen Ausrichten

Im Anschluss musste jede Säule einen möglichst einheitlichen und rechtwinkligen Projektionspfad bieten, so dass sich die von den unterschiedlich montierten Beamern der Strahlengang nach Möglichkeit auf einer fix vordefinierten Distanz am selben Punkt schneiden sollten.

Dazu werden die Projektoren-Brücken einzeln in einem fixen Abstand rechtwinklig zu einer planen Projektionsoberfläche aufgestellt.

**Bild 21: Kalibrierungsaufbau #1****Bild 22: Kalibrierungsaufbau #2**

Anschließend werden die Einzel-Projektionen an einer für die gewünschte Gesamtprojektion festgelegten Größe ausgerichtet. Hierbei ist darauf zu achten, dass Pixel der Überblendung zwischen dem oberen und dem unteren Beamer möglichst exakt übereinander liegen. Der Projektionslichtweg beider Projektoren sollte weitestgehend im rechten Winkel zur Projektionsoberfläche verlaufen. Beide Projektoren müssen zueinander zentriert werden.

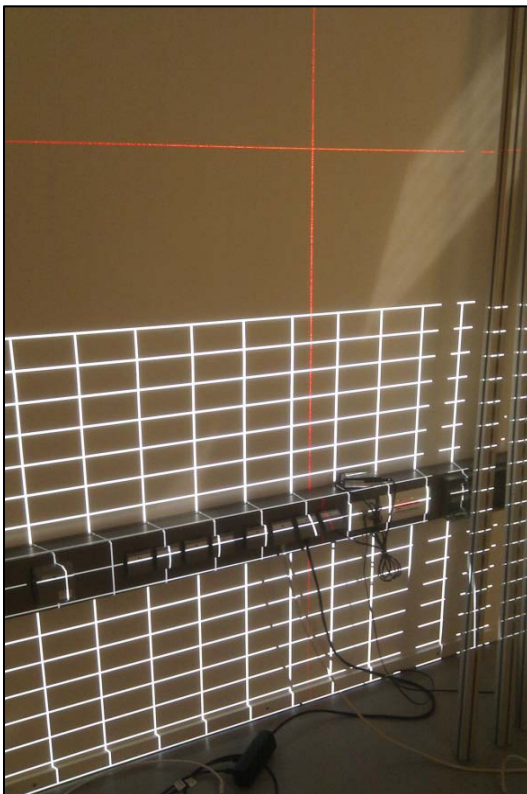


Bild 23-26: Zentrieren der Beamer und Ausrichten der Projektor-Brücke im rechten Winkel zur Projektionsoberfläche

In den folgenden Bildern ist das Ergebnis dargestellt, die durch diese Kalibrierung erzielt wurde.

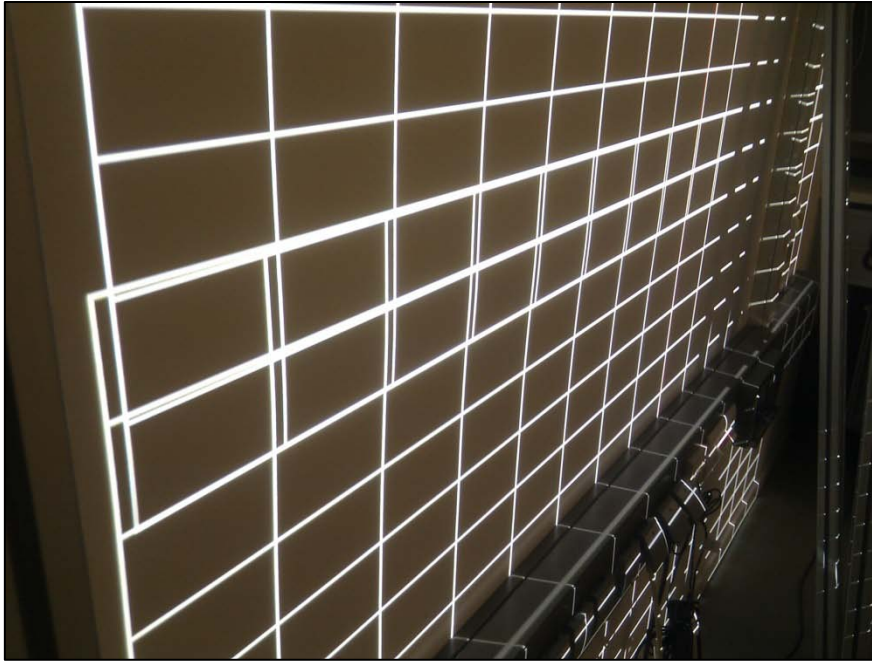


Bild 27: Abweichungen nach grober Ausrichtung an der Brücke.

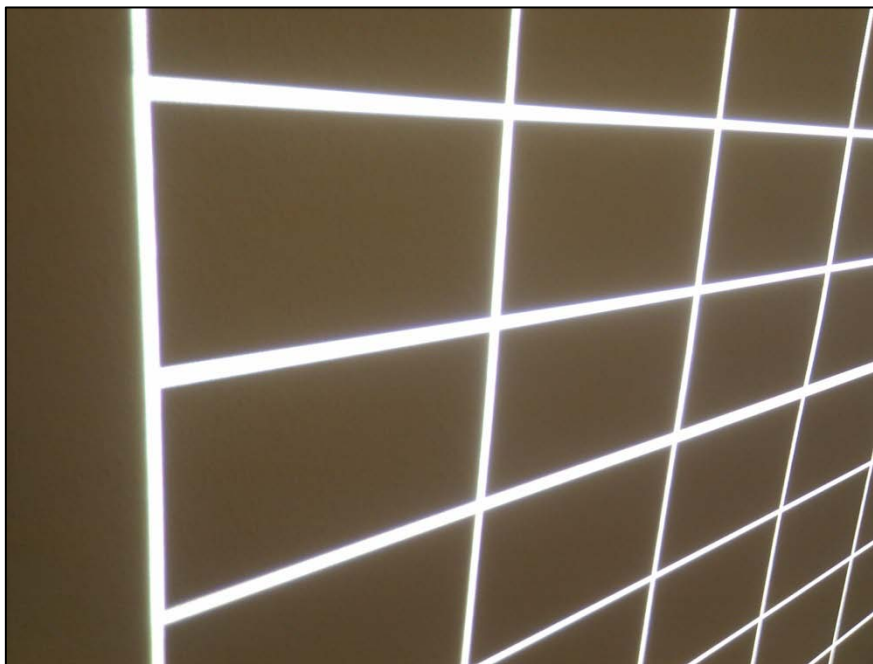


Bild 28: Nach manueller Korrektur

Nach der Kalibrierung der Brücken müssen diese noch an Ihrer endgültigen Position in einem fixen Abstand rechtwinklig zur Projektionsoberfläche aufgestellt werden. Hierzu wurde aus übrigen Profilen ein Werkzeug gebaut, dass eine schnelle Positionierung der Säulen erlaubt.

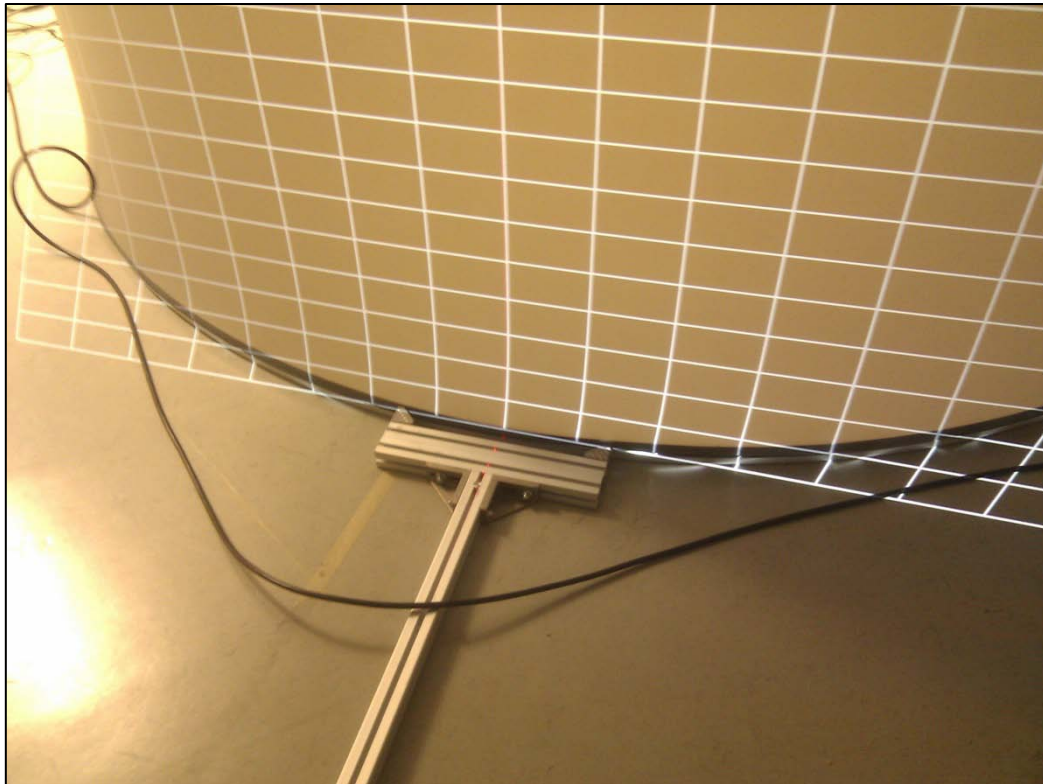


Bild 29: Werkzeug wird mit Hilfe der Laserwasserwaage am Radius ausgerichtet.

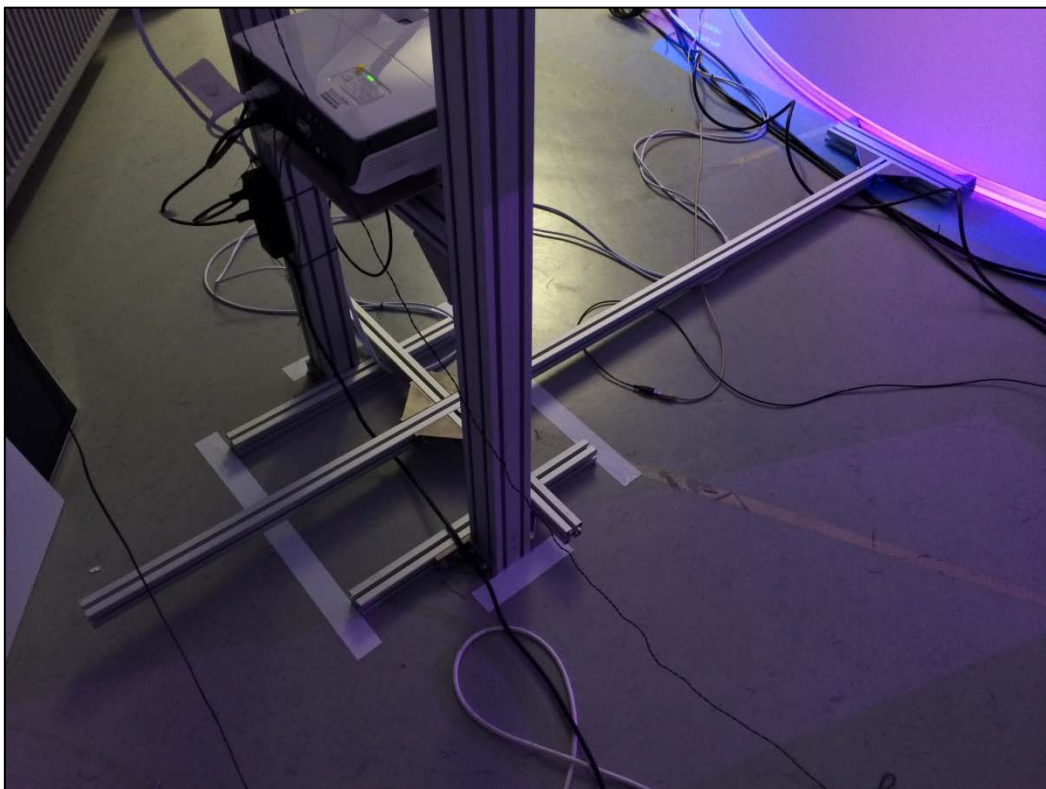


Bild 30: Über eine fix definierte Distanzschiene können die Säulen Millimeter genau ausgerichtet werden.

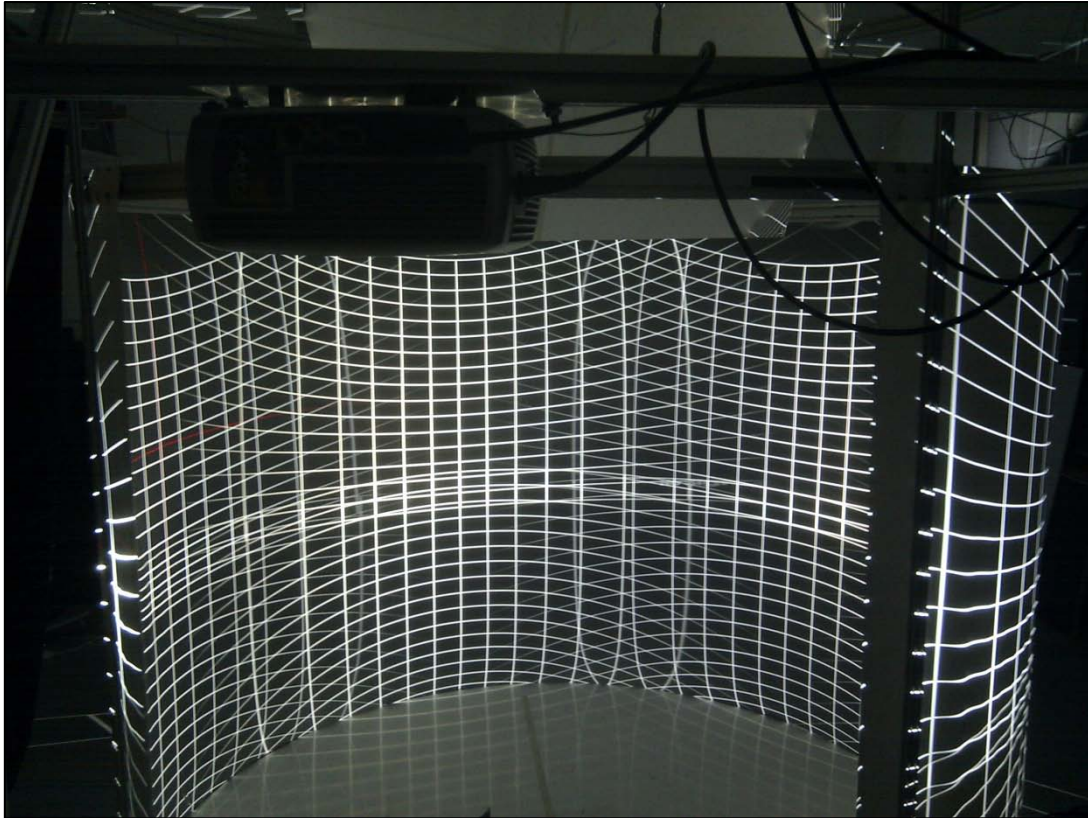


Bild 31: Im Anschluss der Kalibrierung und Aufstellen der Säulen sind die Projektionen homogen angeordnet.

6.1.2.4 Software-Kalibrierung

Bei der Software Kalibrierung wird das vorhandene hardwareseitig kalibrierte System durch eine automatisierte Software erfasst und an die vorhandene Umgebung angepasst. Dabei bietet das System die Berechnung der Verzerrung für jeden einzelnen Beamer sowie die automatisierte Überblendung und Maskierung.

Im ersten Schritt wird anhand einer fixen Kameraposition und mit Hilfe einer Laser Wasserwaage die Oberfläche der Projektionsoberfläche erfasst.



Bild 32: Kameraposition zur Kalibrierung der Beamer-Brücke #1

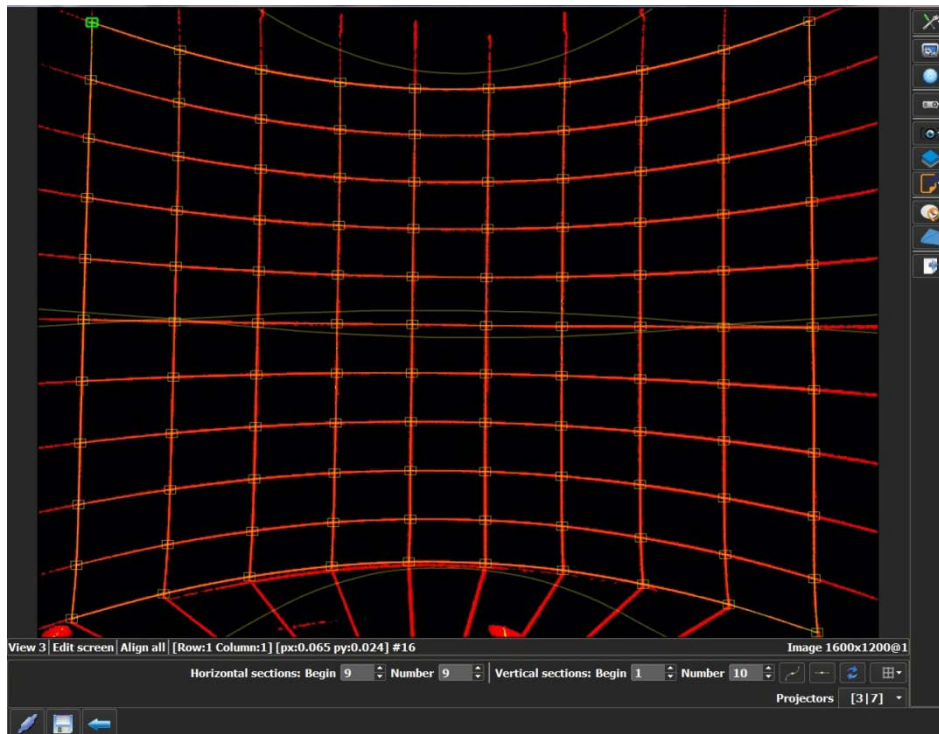


Bild 33: Mit Laser Wasserwaage erfasste Projektionsoberfläche

In derselben Kameraposition wird im Anschluss für die entsprechende Projektor-Brücke die Projektionsfläche je Beamer bestimmt.

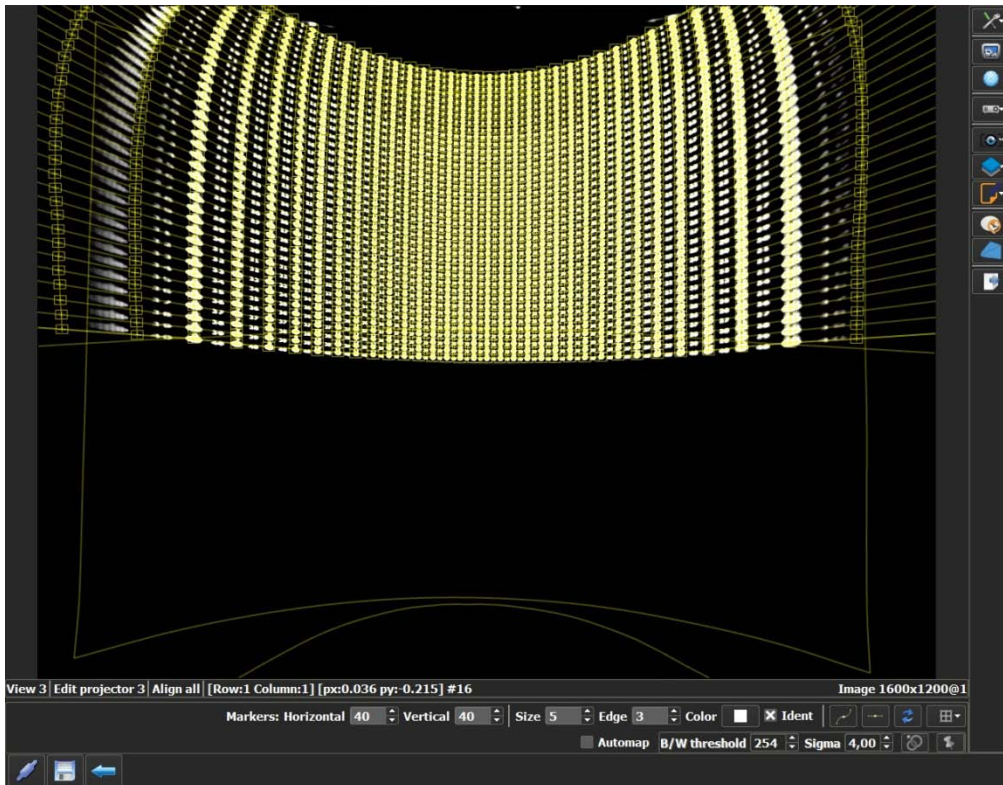


Bild 34: Die durch die Software erfassten Punkte der Beamerprojektion

Die aus diesen Bildern gewonnenen Daten lassen sich mit Hilfe von Extrapolation zur Berechnung der vorhandenen Verzerrung der einzelnen Beamer nutzen. Durch eine Voreinstellung lassen sich die Überblendungen zwischen den Beamern definieren. Das daraus resultierende Ergebnis lässt sich für jede Säule in akzeptablen Zeitumfang durchführen.



Bild 35: Ergebnis der automatisierten Kalibrierung von Säule #1



Bild 36: Komplette Cave Software-Kalibriert

6.1.3 Vorteile der neuen Systemkonstellation

Durch die Änderungen der Kernkomponenten des Cavesystems sowie einiger Konstruktionsänderungen ergaben sich im Verlauf des Projektes weitere folgende Vorteile gegenüber der ursprünglichen Cave, die über die gesetzten Projektziele hinausgehen:

- Darstellen von beliebiger Standardsoftware innerhalb der Cave Environment unter Berücksichtigung vorhandener standardisierter Schnittstellen (OpenGL, DirectX)
- Deutlich realistischeres Tiefe-Gefühl der projizierten Szene
- Helligkeit der Gesamtprojektion konnte um 20% gesteigert werden
- Durch die Verwendung von digitaler Übertragungstechnik gibt es keine farblichen Abweichungen zwischen den Projektionen. Ein Bildrauschen kann nun ebenfalls nicht mehr auftreten.
- Wirkung des Bildes konnte mit der weitaus komplexeren Überblendungstechnik weiter gesteigert werden.

- Der Bedienungsaufwand in der Cave wurde durch das Reduzieren der für den Betrieb notwendigen Workstations stark herabgesetzt.
- Die Kosten für eine Neuinstallation konnten durch den Einsatz neuer Technik wesentlich reduziert werden.
- Geometrisch korrekte Perspektivenkorrekturen können anhand der berechneten Projektionseigenschaften der Projektionssoftware erzeugt werden.

6.2 Aufnahme und Verarbeitung von Benutzereingaben

Es wurde ein Interface-Konzept entwickelt, welches dem Benutzer die wichtigsten Funktionen in einer Form darstellt, die der Umgebung „3D-CAVE“ gerecht wird. Nach der Entwicklung des Interface-Konzepts wurde ein erster Prototyp mit Hilfe von Windows-Forms erstellt. Aufbauend auf diesem Prototyp wurde aus verschiedenen Gründen eine Darstellung mit DirectX-Elementen erstellt. Aufgrund des Model-View-Controller-Konzepts, welches bei der Erstellung des Benutzerinterfaces angewandt wurde, war der Umstieg von Windows-Forms auf DirectX mit relativ geringem Aufwand möglich.

Im Folgenden wird nun das Interface selbst und anschließend die Kopplung mit Sim3D beschrieben. Bild 37 zeigt das im Team entwickelte Konzept zur Steuerung der Simulation aus der CAVE heraus. Die verschiedenen Möglichkeiten für den Benutzer sind in die folgenden Gruppen unterteilt:

- Simulationssteuerung
- Darstellungs- und Steuerungsoptionen
- Hinzufügen
- Bearbeiten
- Statistiken
- Kamera

Bei der Diskussion um die Kategorien und Möglichkeiten der Steuerung ging es vor allem darum, dem Benutzer die Optionen zu präsentieren, die er in der CAVE benötigt. Selten benutzte Aktionen, wie zum Beispiel das Erstellen einer komplett neuen Simulation, wurden im Interface nicht berücksichtigt und sollen weiterhin außerhalb der CAVE erfolgen.

<ul style="list-style-type: none"> - Start - Stop - Reset - Simulationsgeschwindigkeit 	Simulationssteuerung
	Darstellung- und Steuerungsoptionen
	Hinzufügen
	Bearbeiten
	Statistiken
	Kamera

Bild 37: Interface-Konzept

Bei der Umsetzung des Interface-Konzepts wurde das Programmierkonzept „Model-View-Controller“ genutzt. Hierbei werden verschiedene Programmfunktionen einem der drei Programmteile – also Model oder View oder Controller - zugeordnet. Die Datenhaltung und wesentliche Prüfungen erfolgen dabei im Modell, die Präsentation von Daten und Eingabemöglichkeiten werden vollständig im View abgebildet. Der Controller verbindet diese beiden Komponenten. Wenn der Benutzer im View eine Eingabe tätigt, wird diese an den Controller weitergegeben. Der Controller führt eventuell Prüfungen aus und führt anschließend Aktionen aus, die die Daten im Modell mit berücksichtigen bzw. nutzen. Abschließend wird das Modell und falls erforderlich der View aktualisiert.

Die Eingaben des Benutzers werden über einen Xbox360-Controller getätigt. Dieser Controller lässt sich mit Hilfe des XNA-Frameworks von Microsoft gut in .net-Projekten verwenden. Andere Controller wären auch möglich, erfordern jedoch mehr Anpassungen bei der Nutzung von Bibliotheken.



Bild 38: Microsoft Xbox Controller Wireless

Das Interface selbst ist ein völlig eigenständiges Programm, welches nicht direkt in Sim3D integriert ist. Dies hat den Vorteil, dass die Schnittstellen sehr klar definiert sind und das Interface grundsätzlich auch mit anderen Programmen genutzt werden könnte.

Im Projekt wurde die UDP-Schnittstelle zur Kommunikation von Interface- und Sim3D gewählt. Diese Schnittstelle ist klar definiert und lässt es zu, dass das Interface auf einem anderen Computer läuft, als die Simulation selbst. Hierdurch wäre es auch möglich, andere Geräte, wie zum Beispiel Pads oder Smartphones zu nutzen, um die Simulation zu steuern.

Das folgende Bild 39 zeigt das Interface mit Sim3D im Hintergrund. Im gezeigten Prototyp hat das Interface noch ein eigenes Fenster, in folgenden Versionen wurde das Interface in der Darstellung angepasst, so dass es stärker integriert wirkt.

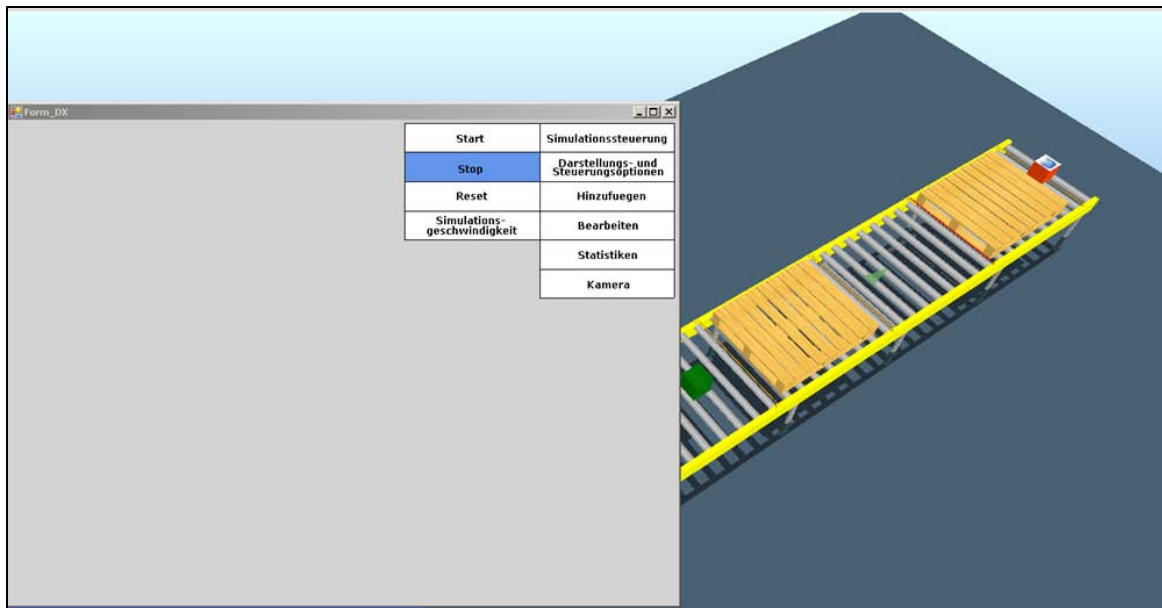


Bild 39: Interface mit DirectX-Elementen

In der obigen Darstellung ist der Punkt „Simulationssteuerung“ ausgewählt und ausgeklappt. Sie zeigt also die Umsetzung des in dem vorhergehenden Bild dargestellten Konzepts.

In einem weiteren Iterationsschritt wurde das Benutzer-Interface grundlegend überarbeitet. Ein wesentlicher Punkt, der hierbei ergänzt wurde, ist die Möglichkeit der Konfiguration verschiedener Darstellungsprofile (Kontraste und Farben), dies erleichtert die Nutzung in Unterschiedlichen Umgebungen. Weiterhin wurde die Darstellung optisch ansprechender gestaltet und für die Nutzung in der 3D-CAVE optimiert. Das folgende Bild 40 zeigt einen Screenshot des finalen Benutzer-Interfaces.

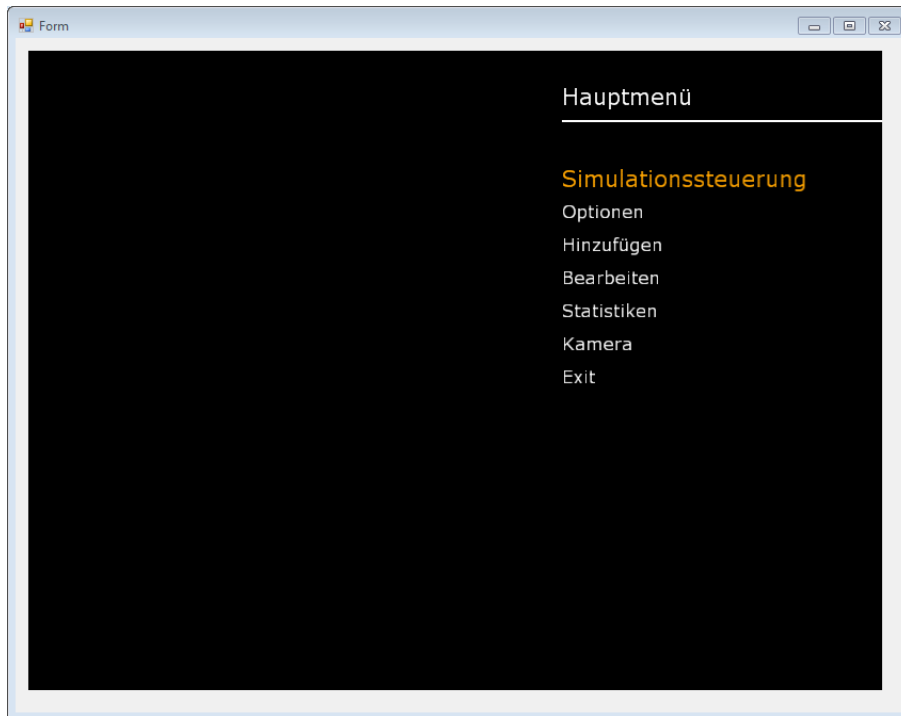


Bild 40: Benutzer-Interface mit Farbprofilen

Eine zusätzliche, wesentliche Änderung im Benutzerinterface, welche nicht offensichtlich ist, ist die Aufteilung der Funktionalität in mehrere, unabhängige Teilanwendungen. Dabei hat sich die folgende Gliederung ergeben:

- Menü
- Controller-Input
- Mouse-Bewegungen
- UDP-Protokoll
- Verarbeitung von Befehlen in Sim3D

Das folgende Bild 41 zeigt die Kommunikation zwischen den einzelnen Anwendungen.

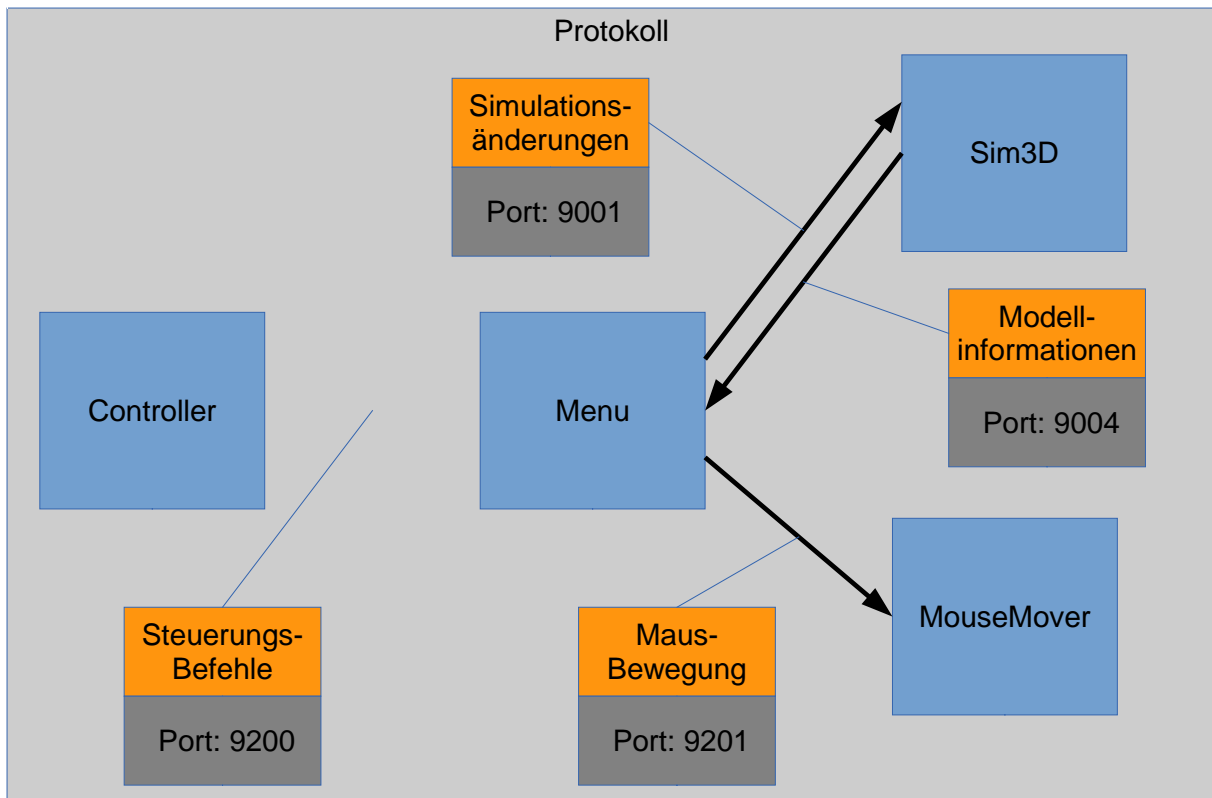


Bild 41: Kommunikation der Programme zur Benutzereingabe

Das Programm mit dem UDP-Protokoll stellt für die anderen Programmteile die Kommunikationsschicht dar. Hier sind jeweils Server und Clients implementiert, welche den Versand von Befehlen über ein Netzwerk ermöglichen. Die Nutzung des UDP-Protokolls führt dabei nicht dazu, dass zwangsläufig ein Netzwerk mit mehreren Rechnern vorliegen muss, alle Anwendungen können auch auf ein und demselben Gerät laufen.

Der Controller-Input liest Benutzereingaben über den Controller und sendet die Befehle an das Menü. Die Trennung der Benutzereingabe von dem Menü erlaubt es verschiedenste Formen der Benutzereingabe zu implementieren. Denkbar wären hier Gestensteuerung oder Tastatureingaben. Es ist zusätzlich möglich verschiedene Formen der Benutzereingabe parallel zu nutzen, die Befehle würden – soweit sie im jeweiligen Kontext sinnvoll sind – in der Reihenfolge abgearbeitet, in der sie beim Menü ankommen.

Das Menü verarbeitet ankommende Befehle, reicht Befehle weiter und generiert neue Befehle, welche es dann an Sim3D sendet. Im Fall der Verarbeitung der Befehle werden die Steuerungsbefehle im Menü ausgewertet und entsprechend zwischen den Optionen im Menü gewechselt. Die Weiterleitung der Befehle wird beispielsweise genutzt, nachdem die Funktion zum Verschieben von Objekten innerhalb

der Simulation ausgewählt wurde. Hier werden die Steuerungsbefehle vom Controller direkt an den MouseMover weitergeleitet um entsprechende Mausebewegungen zu generieren. Der dritte Fall, die Generierung von Befehlen, wird beispielsweise bei der Erzeugung von Objekten genutzt. Wenn der Anwender im Menü den Punkt zur Erzeugung eines neuen Objekts ausgewählt hat, wird der Befehl zur Erzeugung des Objekts vom Menü erzeugt und zu Sim3D geschickt. Innerhalb von Sim3D wird der Befehl ausgewertet und das ausgewählte Objekt erstellt.

Der MouseMover, das Programm für die Mausebewegungen, erhält Befehle, den Mauszeiger zu bewegen und Mausclicks abzusetzen. Auf diesem Wege wird die komplette Eingabe per Maus simuliert. Hierdurch lassen sich beliebige Programme, welche Mauseingaben unterstützen um andere Eingabemöglichkeiten erweitern. Innerhalb von Sim3D wurden Funktionen für die Erzeugung, Modifikation und Löschung von Objekten umgesetzt. Diese Funktionen ermöglichen es dem Anwender einzelne Elemente der Simulation live zu verändern. So wird die Interaktivität der Simulation erreicht. Die Interaktivität stellt einen wesentlichen Aspekt dar, der die entwickelte Anwendung von vorherigen Lösungen unterscheidet.

7 Voraussichtlicher Nutzen

Das mit dem Forschungsprojekt angestrebte technische Ergebnis konnte nahezu vollständig erreicht und in manchen Aspekten sogar übertroffen werden. Mit Projektabschluss liegt nun eine Lösung vor, welche

- den Bau einer Cave mit einem Investitionsvolumen von teilweise sogar unter 50.000€ zulässt. Damit werden auch kleine und mittelständische Unternehmen in die Lage versetzt, auf diese Technologie zurückzugreifen. Bedingt durch die zunehmende Verbreitung von 3D-Lösungen im Heimbereich ist zudem eine weitere Preisreduktion bei den zur Anwendung kommenden Standardkomponenten absehbar.
- die angestrebte Erkennung von Fehlern bereits in der Planungsphase unterstützt. Basis hierfür ist die dreidimensionale Abbildung von Körpern und Prozessen in beliebiger Vergrößerung und unter beliebigen Ansichten. Damit werden Blickwinkel zugänglich, die in der Realität nicht oder nur unter Gefahr eingenommen werden können.
- als Mensch-Maschine-Schnittstelle genutzt werden kann. Es bieten sich Chancen, die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung aufwandsarm zu optimieren.
- die Visualisierung von Szenarien aus unterschiedlichen Disziplinen ermöglicht. Dies trägt maßgeblich zur Steigerung der Glaubwürdigkeit im Rahmen von Marketing- oder Akquiseveranstaltungen bei. Bedingt durch den Rückgriff auf marktübliche Standards gelingt es zudem, die verbreiteten 3D-Formate in der Cave darzustellen. Damit ist der Einsatz der Cave nicht nur auf die Fabrikplanung beschränkt, sondern kann ebenso in anderen Bereichen zum Einsatz kommen. Als Beispiel seien Anwendungen in der Produktentwicklung, Medizin, Chemie oder Design angeführt.
- vollständig offen ist, für die Erweiterung um neue Arten der Benutzereingabe. Durch die Realisierung der programminternen Schnittstellen über ein netzwerkfähiges Protokoll (UDP) ist es möglich, verschiedenste Eingabegeräte anzubinden. Naheliegend sind hier beispielsweise neuartige Varianten der

Gestenerkennung (Xbox Kinect) oder auch die Nutzung der inzwischen etablierten mobilen Systeme (Smartphones, Tablets).

- die gegenwärtig laufende 4. Industrielle Revolution unterstützt. Die unter der Bezeichnung Industrie 4.0 bekannte Entwicklung, fordert die zunehmende Verschmelzung der realen und der virtuellen Welt . Die 3D-Cave kann das gesuchte Bindeglied hierfür darstellen. Sie bietet eine begehbare Umgebung mit Raum für mehrere Betrachter.

8 Geplante wirtschaftliche Verwertung

Die mit dem Abschluss des Forschungsvorhabens entstandene prototypische Umgebung für die Planung und Simulation von Fertigungsstandorten in der CAVE bildet die Basis für die zukünftigen marketing- und vertriebstechnischen Maßnahmen. Die entwickelte Steuerung auf Basis eines X-Box Controllers konnte bereits auf der LogiMAT Messe 2013 in Stuttgart verwendet werden, um ein logistisches Messespiel zu steuern. Ziel des Spiels war es, gegenläufige Zielparameter möglichst so zu setzen, dass Fördergüter das Produktionssystem möglichst schnell durchlaufen. Der Controller ermöglichte dabei alle Parameter zu setzen, sich frei in der Fabrik zu bewegen sowie Simulationsläufe zu starten und zu stoppen. Über 250 Spielteilnehmer konnten in den 3 Messetagen verzeichnet werden. Es ist geplant, das Spiel auch auf weiteren Veranstaltungen einzusetzen. Das Bild 42 zeigt das SimPlan-Spiel auf der LogiMAT 2013.



Bild 42: SimPlan-Spiel auf der LogiMAT 2013

Als vertriebsunterstützende Marketingmaßnahmen sind darüber hinaus folgende Aktionen geplant.

- 1) Veröffentlichung der Forschungsergebnisse im SimPlan Newsletter (knapp 20.000 Empfänger)
- 2) Veröffentlichung der Forschungsergebnisse auf der SimPlan AG Webseite
- 2) Versuch der Veröffentlichung in weiteren relevanten Industriemagazinen
- 3) Vermarktung der Technologie auf SimPlan Leitmessen, wie z. B. der CeMAT Asia 2013 in Shanghai und LogiMat 2014 in Stuttgart
- 4) Erstellung von Vertriebsunterlagen und Schulung von SimPlan Vertriebsmitarbeitern

Simplan hofft, mit den Maßnahmen Interessenten gewinnen zu können, die eine Weiterentwicklung der Technologie ermöglichen und zum Verkauf der Gesamt- oder Teilmtechnologie führen sollen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit kann zum aktuellen Zeitpunkt nur mit Unschärfe prognostiziert werden. Aufgrund der aktuellen Resonanz aus der Industrie sind wir aber optimistisch, konkrete Ansatzpunkte mit Industriekunden finden zu können.

Das IPL wird die Cave im Rahmen der Lehre an der Hochschule München in dem Fach ‚Digitale Fabrikplanung‘ zum Einsatz bringen. Studenten erhalten die Möglichkeit, praxisnahe Fallbeispiele auf dem aktuellen Stand der Technik zu bearbeiten. Darüber hinaus zeichnen sich erste Ansätze zur Zusammenarbeit mit der Hochschule Augsburg ab. Hier konnten erste Gespräche geführt werden, wie eine Cave die Zusammenarbeit von Konstruktionsteams unterstützen kann. Das Ergebnis eines gemeinsamen, anschließenden Forschungsprojektes könnte ein Cave-Verbund sein, in dem Teams an verschiedenen Standorten an der Entwicklung eines gemeinsamen Produktes online arbeiten. Weitere erste Anfragen zur Realisierung von Caves in Unternehmen sind zwischenzeitlich ebenfalls eingegangen, sodass davon ausgegangen werden kann, den nunmehr vorliegenden Bauplan der vorhandenen Cave in unmittelbarer Zukunft auf ein Projekt mit wirtschaftlichem Hintergrund übertragen zu können.

Zur breiteren wirtschaftlichen Nutzung wird IPL die Cave auch auf weitere Anwendungsgebiete neben der Fabrikplanung übertragen. Diese sind z.B.

- Einrichtungsplanung: Zielgruppe dieser Anwendung sind Möbelhäuser, die Ihren Kunden bei der Auswahl ihrer zukünftigen Einrichtung ein verbessertes Vorstellungsvermögen bieten wollen. Dabei kann die Einrichtung online geändert, bewegt oder der Betrachtungswinkel verändert werden.

- Medizin: Komplizierte Operationen lassen sich mithilfe der Cave im Vorfeld planen und simulieren. Aufgrund der 3D-Darstellung und der Vergrößerungsmöglichkeiten können selbst schwierige Operation gefahrlos für den Menschen erproben lassen.

Zu Beginn des Jahres 2013 hat das IPL ein Unternehmen, die Visual Technologies GmbH, ausgegründet, welches mit Projektabschluss die Aufgabe übernommen hat, die abschließende Marktreife der Technologie herzustellen und die Cave gezielt in den genannten Bereichen zu vermarkten. Das Unternehmen hat seinen Sitz in Baldham bei München. Die Homepage befindet sich im Internet unter: www.visual-technologies.de. Erste Arbeitsplätze als direkte Folge aus dem Projekt wurden damit bereits geschaffen.

9 Zusammenarbeit unter den Projektpartner

Die Zusammenarbeit der Projektpartner gestaltete sich als produktiv und kooperativ. Da in dem Projekt nur zwei Projektpartner zusammen arbeiteten (Simplan AG und das Institut für Produktionsmanagement und Logistik), welche auch räumlich dicht beieinander waren, war die Abstimmung und Koordination der Projektstätigkeiten mit geringem Aufwand verbunden.

Der größte Teil der Abstimmung zwischen den Projektpartnern erfolgte durch persönliche Treffen bei jeweils einem der Projektpartner. Zusätzlich wurden kleinere Probleme und Ergebnisse auf telefonischem Wege schnell und direkt geklärt. Die persönlichen Treffen hatten den Vorteil, dass es keine unnötigen Missverständnisse gab und die Aktivitäten der Projektteilnehmer zielgerichtet und abgestimmt durchgeführt wurden.

Die gute Zusammenarbeit hat sich auch dadurch gezeigt, dass Schwierigkeiten im Projektverlauf, zum Beispiel die Personalprobleme beim IPL zu Beginn des Projekts, durch die Partner gemeinsam gelöst wurden. Für das erwähnte Personalproblem bedeutete dies, dass der Fokus der SimPlan Aktivitäten von der Implementierung von Simulations- und Auswertungstools hin zu der Darstellung und Verarbeitung von Benutzereingaben verschoben wurde, um die Kernfunktionalität des Produkts in der Projektlaufzeit bereitstellen zu können.

Das beschriebene Beispiel zeigt, dass sich die Projektpartner gemeinsam dafür eingesetzt haben, das Forschungsvorhaben zu realisieren, anstatt sich auf Ihren Projektpart zu versteifen.

Aus der engen Zusammenarbeit heraus wurde entschieden, den Schlussbericht gemeinsam zu erstellen, um auch in diesem Abschnitt des Forschungsvorhabens gemeinsam das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.

10 Ergebnisse der Unterauftragnehmer

Einzigster Unterauftragnehmer dieses Forschungsprojektes war die Hochschule München. Die Aufgabe des Unterauftragnehmers bestand darin,

- die Umgebung einer 3D-Cave bereitzustellen. Diese wurde in allen Projektphasen zur Durchführung von Machbarkeitsanalysen genutzt. Die bestehende Infrastruktur musste zu diesem Zweck kontinuierlich an die aktuellen, zunächst theoretischen Forschungsergebnisse angepasst werden. Mit Projektabschluss verfügt die Hochschule München damit über eine funktionierende 3D-Cave, welche in zukünftigen Forschungsprojekten sowie in der Lehre eingesetzt werden kann.
- sämtliche Soft- und Hardwarekomponenten (auch in ihrer Kombination) hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Praxistauglichkeit zu überprüfen. Dazu wurden Belastungstests durchgeführt, welche das Verhalten der Visualisierung in unterschiedlichen Situationen überprüften. Variiert wurden u.a. Modellgrößen, Auflösung der Anzeige, Einsatz unterschiedlicher Kabelverbindungen, Taktfrequenzen, Geschwindigkeit der Anwenderbewegung. Das vorliegende Ergebnis belegt nun eine erste Einsatztauglichkeit der Cave. Gleichzeitig bietet sie die Grundlage für zukünftige Forschungsaktivitäten zur weiteren Leistungssteigerung.

Die vom Unterauftragnehmer zu erbringenden Aufgaben wurden damit in vollem Umfang erfüllt.

11 Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Getrieben durch die Spiele- und Kino-Industrie hat sich die 3D-Technik in den letzten Jahren auch den Weg in die heimischen Wohnzimmer gebahnt. Längst zählen Fernseher und PC-Monitore zum Standard, welche dreidimensionale Bilder anzeigen können. Der Pay-TV-Sender Sky bietet inzwischen eigene Kanäle an, in denen ausschließlich dreidimensionale Sendungen in HD-Qualität ausgestrahlt werden. Das Angebot reicht dabei von Kinofilmen bis hin zu Sportereignisse wie beispielsweise Fußball-Bundesligaspielen. Spieleanbieter, wie u.a. Nintendo, bieten eine breite Vielfalt an Computerspielen in 3D an. Zwar beschränken sich die Anwendungen bislang auf die Wiedergabe durch Monitore, doch profitieren auch die Betreiber von 3D-Caves von dem steigenden Angebot an leistungsstärkeren Equipment und gleichzeitig sinkenden Preisen. So sind die in der Cave an der Hochschule München nun zum Einsatz kommenden Projektoren von BenQ primär für den Einsatz in privaten Haushalten vorgesehen. Die eingesetzten Grafikkarten findet man vorwiegend in der Foto-/Filmindustrie wieder. Dennoch ermöglichen sie auch den Einsatz in einem Cave Umfeld und gestatten es somit, die Hardwarekosten für Cave-Anwendungen deutlich zu senken. Bedingt durch die steigende Rechenleistung und höhere Auflösung der Bilder gestatten es die Grafikkarten, flüssig laufende Bilder (mit mindestens 50Hz je Kanal) in hochauflösender Qualität zu projizieren. Die Investitionskosten zum Neubau einer Cave sind aufgrund dieser Trends in den letzten Jahren sehr stark gesunken. Vergleichbar mit der Situation bei Grafikkarten hat sich in den letzten beiden Jahren die Angebotsdichte deutlich erhöht, was zu mehr Leistung und geringeren Preisen geführt hat. Mit der Umstellung der Grafikkarten in der hochschulseitigen Cave mussten auch die Beamer ausgetauscht werden. Die zu Projektstart noch in analoger Technik betriebenen Beamer wurden durch preiswerte, digitale Beamer mit stärkerer Helligkeit und verbesserter Auflösung ersetzt. Fraglich erscheint jedoch die Sinnhaftigkeit von Beamern in zukünftigen Caves. Die Notwendigkeit zur Korrektur grafischer Verzerrung aufgrund der Leinwand-Geometrie sowie die erforderliche Maskierung der Projektionsränder bei überlappender Projektion eines in mehrere Teilbilder zerlegten Bildes erschwert deren Einsatz. Veränderungen der Leinwandgeometrie infolge von Temperaturschwankungen und insbesondere beim Standortwechsel führen zu einer großen Komplexität, der nur durch qualifizierte und erfahrene Anwender gemeistert werden kann. Deutliche Vereinfachungen sind beim Ein-

satz aktiver Leinwände zu erwarten. Dies ist beispielsweise bei Einführung der LED-Technik auf organischer Basis (sogenannte OLED) zu erwarten. Mit ihnen lassen sich auch gekrümmte Bildflächen realisieren.

Einen alternativen Entwicklungsschritt hat Microsoft Research angekündigt. Unter dem Projektnamen ‚illumiroom‘ arbeitet das Unternehmen an der Erweiterung ihrer unter dem Namen XBOX bekannten Spielekonsole. Die für das Jahr 2014 angekündigte Markteinführung soll es möglich machen, neben dem Monitor auch die Umgebung in die Darstellung mit einzubeziehen. Zu diesem Zweck werden die umgebenden Einrichtungsgegenstände und Wände automatisch vermessen und unter Berücksichtigung der resultierenden Verzerrung in die Projektion einbezogen. Eine Prinzipdarstellung gibt nachstehendes Bild wider:

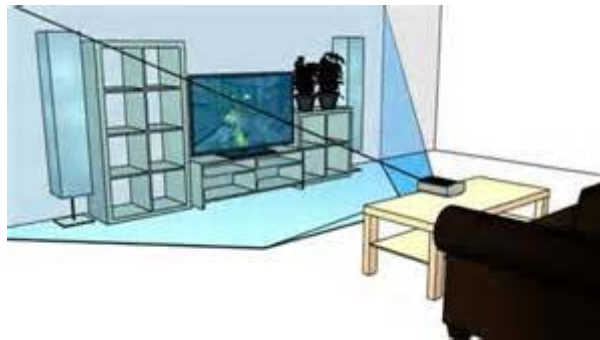


Bild 43: Projektion eines Bildes unter Einbeziehung der Zimmerumgebung⁵

Zusammenfassend kann aus diesen Entwicklungen der Schluss gezogen werden, dass die Projektionstechnik auch zukünftig von den Entwicklungen im Consumersektor profitieren und wesentlich voran getrieben wird. Der professionelle Anwender wird jedoch auch weiterhin laufezeitoptimierte und großflächige Bilddarstellungen benötigen. Die Differenzierung der Cave-Betreiber dürfte also weniger über die Hard- und Software erfolgen, sondern über das Vermögen, die marktgängigen Komponenten für spezielle Branchenlösungen zu integrieren. Die Preissenkungen im Bereich der Hardware haben bereits und werden auch weiterhin zu fallenden Kosten für den Einsatz der virtuellen Realität führen. Damit sollte auch die Markteintrittshürde sinken und die Verbreitung sowie Akzeptanz der 3D-Technologien wesentlich unterstützen. Ein ausgewähltes Beispiel für eine branchenbezogene Lösung stellt das Projekt ViERforES (Virtuelle und Erweiterte Realität für höchste Sicherheit und Zuverlässigkeit eingebetteter Systeme) dar. Das gemeinsame Ziel dieses Forschungsprojektes

⁵ S. <http://www.youtube.com/watch?v=sJ4hWa6y710>

ist es, mit neuen Entwicklungskonzepten die Sicherheit und Zuverlässigkeit von technischen Geräten und ganzen Prozessen, Maschinen, Anlagen nachhaltig zu verbessern. Die Ingenieure konzentrieren sich dabei vor allem auf die Simulation und den Test des wichtigen Kerns heutiger Produkte - die eingebetteten Systeme wie Steuerungssoftware und Mikroprozessen. Dafür nutzen sie modernste Technologien der „Virtuellen und Erweiterten Realität“.

Daneben existieren zahlreiche weitere Arbeits- und Projektgruppen. Diese beschäftigen sich mit dem Einsatz der Virtuellen Realität in unterschiedlichen Anwendungsgebieten, wie u.a. Ergonomie, Softwareentwicklung, Städteplanung, Akustik sowie Flug- und Fahrsimulationen.

12 Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Aufgrund des erst unmittelbar mit Projektende erreichten Projektzieles, konnten bislang noch keine Veröffentlichungen platziert werden. Ein erster ausführlicher Bericht erscheint in einer der nächsten Ausgaben der HM-News. Die HM-News ist ein Magazin der Hochschule München, in dem über aktuell laufende, erfolgreiche Projekte an der Hochschule München berichtet wird.

Zudem ist es geplant, das Forschungsprojekt und die Ergebnisse im SimPlan Newsletter sowie im IPL-Magazin zu veröffentlichen. Der SimPlan Newsletter erreicht ca. 20.000 Empfänger, die mit SimPlan im Bereich der Simulation und/oder virtuellen Fabrikplanung zusammengearbeitete haben. Der Empfängerkreis gehört also grundsätzlich zum potentiellen Kundenkreis für die virtuelle Fabrikplanung in der 3D-CAVE. Das IPL-Magazin wird an ca. 3.000 Leser aus dem Bereich Produktion, Logistik und Management verteilt.

Zusätzlich ist eine Veröffentlichung auf den Homepages von SimPlan und IPL geplant, wodurch zusätzliche Personenkreise erreicht werden können.

Weitere Veröffentlichungen in relevanten Industriemagazinen sind angedacht, aber noch nicht konkretisiert. Mehrere Anfragen zur Vorstellung des Projektes auf internationalen Symposien liegen vor.

13 Literatur

- Woodrow Barfield, Claudia Hendrix,
„The Effect of Update Rate on the Sense of Presence within Virtual Environments”,
Virtual Reality (1995) Vol. 1, No.1, 3-16
- L. Sastry, D. R. S. Boyd,
“Virtual Environments for Engineering Applications”,
Virtual Reality (1998) Vol. 3, 235-244
- Manfred Brill,
Virtuelle Realität,
Springer Verlag 2009
- Christian Wöhler,
3D Computer Vision, Efficient Methods and Applications
Springer Verlag 2009
- Mario A. Gutiérrez A., Frédéric Vexo, Daniel Thalmann,
Stepping into Virtual Reality,
Springer Verlag 2008
- Meier, K.-J. (8/2008), Wie ist der Fabriksimulation zu helfen?, in: IPLMagazin
04, 07/2008, www.ipi-magazin.de
- Adrian Haffegge, Priscilla Ramsamy, Ronan Jamieson, Vassil Alexandrov,
“Creation and Control of Interactive Virtual Environments”
Lecture Notes in Computer Science: ICCS 2006, Part II, LNCS 3992, 595-602
- Fellner, D. W.; Havemann, S.; Hopp, A. (2003), DAVE – Eine neue
Technologie zur preiswerten und hochqualitativen immersiven 3D-
Darstellung, Technical Report TUBS-CG-2003-08, Braunschweig (Technische
Universität)
- Sébastien Piérard, I See 3D“,
[<http://www.montefiore.ulg.ac.be/~pierard/projector/>]
- aixCave, rwth-Aachen, [http://www.rz.rwth-aachen.de/aw/cms/rz/Themen/Virtuelle_Realitaet/infrastructure/~tos/aixCAVE_at_RWTH_Aachen_University/?lang=en#software]
- XNA-Gamestudio 3.1 Dokumentation: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb200104\(v=xnagamestudio.31\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb200104(v=xnagamestudio.31).aspx)

- .Net 3.5 Framework Dokumentation: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/w0x726c2\(v=vs.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/w0x726c2(v=vs.90).aspx)
- Stereo 3D Computer gaming History [<http://3dvision-blog.com/2159-brief-stereoscopic-history-from-its-beginning-until-today/>]
- NVidia Corporate Website [<http://www.nvidia.com>]
- Fly Elise N.G. Website [<http://www.fly-elise.nl>]
- Barco, Display and visualization solutions: Displays, Projectors, LED displays, Monitors, Video walls & Custom imaging, www.barco.com
- Bitmanagement Software GmbH (2006), Whitepaper Stereoskopische 3D Darstellungen