



**ANDREAS ISSLEIB**  
E-MAIL:  
Andreas.Issleib@  
haw-hamburg.de



**STEPHAN PLASCHKE**  
E-MAIL:  
Stephan.Plaschke@  
haw-hamburg.de



**Prof. Dr.**  
**WOLFGANG RENZ**  
E-MAIL:  
Wolfgang.Renz@  
haw-hamburg.de

# Virtual Reality für die Lehre und Forschung: Die neue MMLab-CAVE

ANDREAS ISSLEIB, STEPHAN PLASCHKE UND WOLFGANG RENZ  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Technik und Informatik  
Department Informations- und Elektrotechnik

## 1 Unterhaltung treibt 3D-Anwendung

Noch vor wenigen Jahren war es Zukunftsmusik: Sie sitzen mit einer Stereobrille vor dem heimischen Fernseher und die Filmszenen erscheinen räumlich dreidimensional losgelöst von der Mattscheibe lebendig vor Ihnen. Oder Sie klappen das Notebook auf und können mit einer Stereobrille nicht nur 3D-Spiele und 3D-Filme, sondern auch Konstruktionen, Kartenmaterial von Landschaften und Städten sowie andere Inhalte in 3D räumlich vor sich schweben sehen bzw. anderen mit einem 3D-Beamer vorführen. All das ist nun im Jahre 2010 im Handel verfügbare Wirklichkeit. Einzig die Produktion der 3D-Filme und deren Speicherung auf geeigneten Medien sowie geeignete Standardsoftware bilden momentan noch die Beschränkung bei der Nutzung dieser technischen Möglichkeiten.

Diese Techniken, die in der Vergangenheit nur Spezialkinos sowie Forschungseinrichtungen und Entwicklungslabors zur Verfügung stan-

den, konnten die Studierenden im Labor für Multimediale Systeme [MMLab] seit 2004 erproben. Ebenfalls war es möglich im Jahr 2005 bei der ersten Hamburger Nacht des Wissens über zweitausend Besucher mit einer mobilen 3D-Großbildprojektion anzulocken. Allerdings ist dabei dreierlei zu bemerken:

Erstens ist der Wunsch nach dem bildbasierten 3D-Sehen schon sehr alt und wurde im 19. Jahrhundert mit einfachen optischen Mitteln realisiert, wie Abbildung 1 zeigt. Auch der erste 3D-Film mit Farbbrillen (Rot und Blau-Grün) geht

### *Nutzerakzeptanz:*

*»Technik muss ergonomisch sein.«*

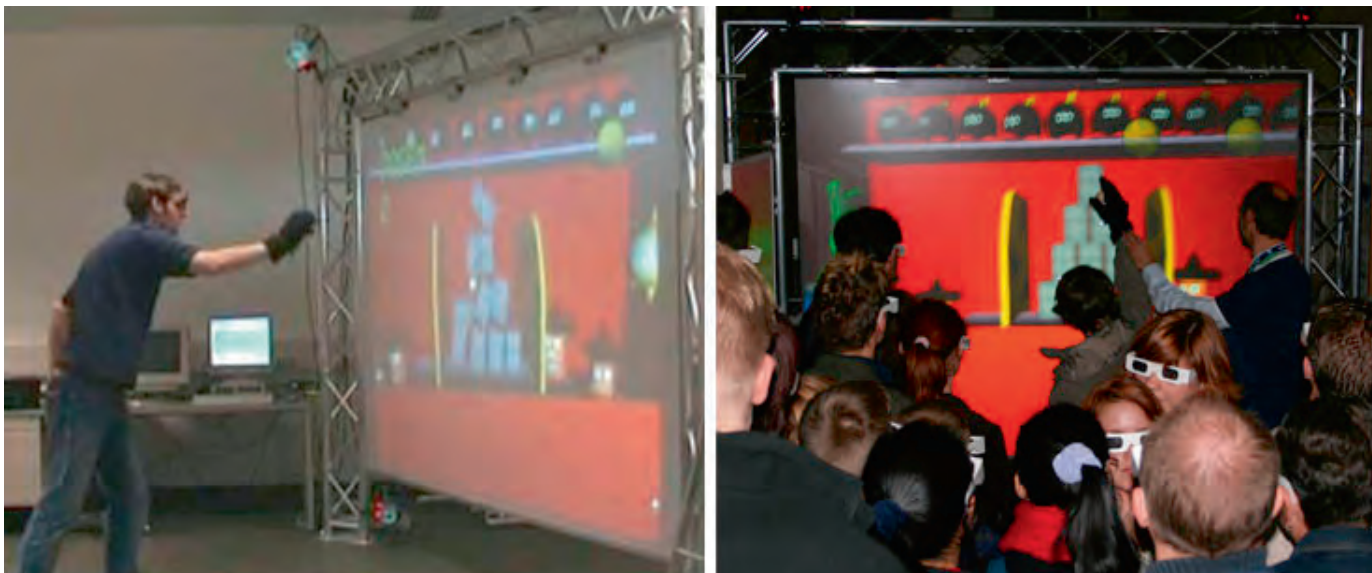
in die 20er Jahre des letzten Jahrhunderts zurück. Diese Techniken sind allerdings wegen technischer Schwierigkeiten und mangelnder Ergonomie immer exotisch geblieben und haben erst seit den 90er Jahren vor allem durch die IMAX-Kinos mit farbneutralen Brillen und größerem Filmangebot breitere Akzeptanz gefunden.

Zweitens ist das 3D-Sehen von Bild und Film nur ein Teil des wirklichen 3D-Erlebens in interaktiven Umgebungen, wie sie auf dem Computer möglich wurden. Das beste Beispiel für diese interaktiven Umgebungen sind 3D-Spiele. Hierbei bewegt man sich frei in einer virtuellen Szene und kann in dieser agieren. Der Bildschirm wird zum Fenster in eine virtuelle Welt, die nicht nur fotorealistisch aussieht, sondern in der man sich fortbewegen kann und die sich real verhält, anhört und anfühlt, so Ivan Sutherland 1965. Damit war das Programm der Hardwareentwicklung und der Computergrafik für mehr als vier Jahrzehnte vorskizziert.

Drittens muss sich der Benutzer wirklich in die virtuelle Welt hineinver-



Abbildung 1:  
Beispiel eines Holmes  
Stereoskops



setzt fühlen, indem er intuitiv interagieren kann und indem das System auf seine Kopf- und ggf. Körperbewegung reagiert. Der Benutzer möchte sich umschauen können, er möchte ein Ob-

**Interaktivität:**

»3D-Sehen ist nur ein Teil, man will interagieren.«

jekt von unten oder von anderen Seiten aus sehen.

Dazu werden die Bewegungen des Interaktionsgeräts und der Brille des Benutzers durch ein kamera-basiertes 3D-Rekonstruktionssystem zur Bewegungsverfolgung (Motion-Tracking System) aufgenommen und für die Berechnungen der Bildprojektionen sowie der Anwendungsinteraktion benutzt.

Wesentlich für die Attraktivität der genannten Präsentation im Jahre 2005 waren, neben der Innovation der Anwendung, alle drei Faktoren: eine passable Benutzbarkeit, die Interaktivität und ein Stück weit die Immersion. Etwa 350 Benutzer testeten die gezeigten Spieleanwendungen an diesem Abend eigenhändig.

**Virtuelles Dosenwerfen: eine VR-Technikstudie der HAW Hamburg**

Beim virtuellen Dosenwerfen wird aus der Wurf-Geste des Benutzers der Abwurfzeitpunkt und die Bewegung des virtuellen Balls in Echtzeit berechnet. Eine Physics-Engine berechnet die Reaktion der virtuellen Dosen auf den Einschlag des Balls. Die sog. Spiellogik berechnet die Zahl der abgeworfenen Dosen, verfolgt den Spielverlauf und gibt vi-

suelle und akustische Rückmeldungen. Die Verfolgung der Kopfbewegung erlaubt dem Benut-

**Immersion:**

»Der Benutzer muss sich real hineinversetzt fühlen.«

zer, sich im Dosenstand umzusehen. Das virtuelle Dosenwerfen wurde im MMLab als Technikstudie eronnen und erwies sich als immersives 3D-Spiel mit Spaßfaktor. Ergonomische Ver-

Abbildung 2: Virtuelles Dosenwerfen bei der Entwicklung im MMLab (links) und bei der 1. Nacht des Wissens (rechts)

CAVE: Cave Automatic Virtual Environment bedeutet in etwa höhlenartige automatisch reagierende, also interaktive virtuelle Umgebung. Eine CAVE bezeichnet heutzutage immer eine virtuelle Umgebung mit Mehrseitenprojektion.



Abbildung 3: Die MMLab-CAVE im Aufbau



timale Funktion der Software vornahm. Version 2 wurde von einem Zweierteam neu gebaut [VirDosen].

## 2 Die MMLab-CAVE

Was für Frontalpräsentationen (wie z.B. die beschriebenen Spieleanwendungen) noch akzeptabel ist, wird für Konstruktionsanwendungen oder Ergonomieuntersuchungen im Fahrzeug- und Flugzeugbau sowie im Maschinen- und Anlagenbau, aber auch für eine Reihe von 3D-Spielen zum Nachteil. Damit der Benutzer sich wirklich umschaun und ein Objekt von unten oder von anderen Seiten ansehen kann, darf der Blick in die virtuelle

Abbildung 4: Die MMLab-CAVE im Betrieb

besserungen führten zu einer Version 2, die bei der 2. Nacht des Wissens 2007 vorgestellt wurde.

Wie wird ein solches Studentenprojekt durchgeführt? Sowohl in den Bachelor- als auch in den Masterstudiengängen sind Projekte vorgesehen. In diesem Fall gab es klare Vorgaben des Professors bezüglich der einzusetzenden Softwarepakete und Schnittstellen. In der Lehrveranstaltung wurden die der Software zugrundeliegenden Konzepte vermittelt sowie das Konzept der zu erstellenden Spielanwendung erläutert. In kleinen Prototypen wurden einzelne Konstruktionsaufgaben parallel von verschiedenen Gruppen gelöst bevor eine Gruppe von 4 Studierenden dann die abschließende Integration, das Testen und Anpassen der Parameter für die op-

Welt nicht auf eine Blickrichtung eingeschränkt werden. Dazu wurde 1992 das Prinzip des interaktiven Mehrwandprojektionssystems (sog. CAVE [Cave92]) entwickelt. Es handelt sich um

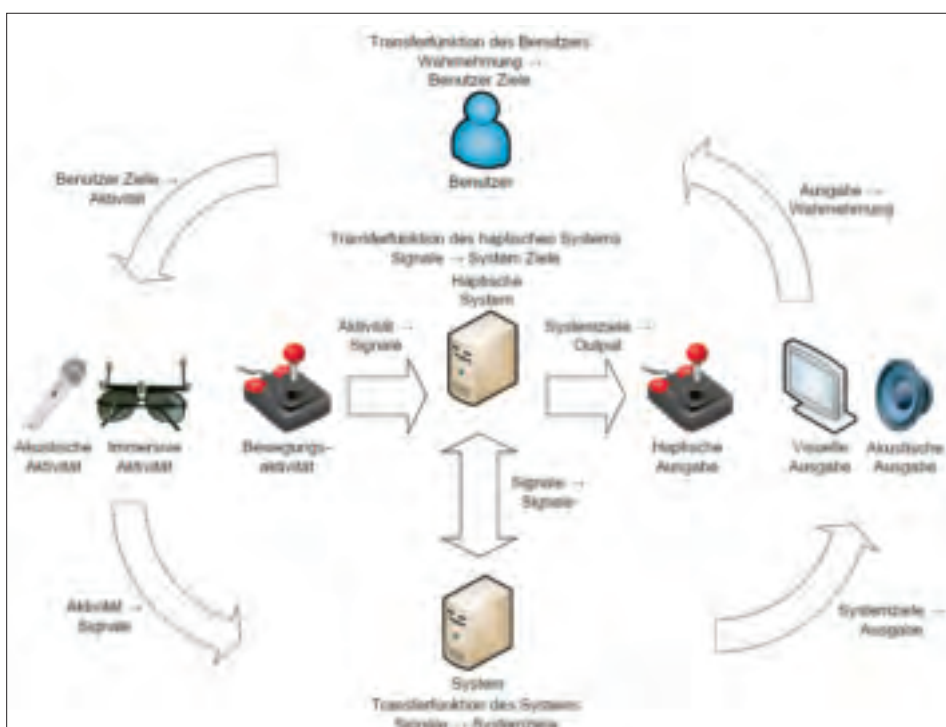
**Mehrseitenprojektion:**  
»Bodenprojektion fördert die Immersion.«

drei bis sechs rechtwinklig angeordnete Projektionsflächen, die ein oder mehrere Quaderecken, bis zu einem vollen Quader bilden können, wobei der Bodenprojektion besondere Bedeutung für das Immersionsempfinden zukommt.

Fred Brooks, Softwarearchitekt des IBM OS/360 und Autor des Buches *The Mythical Man-Month* [Brooks95], widmete sich ab 1986 der Virtual-Reality Forschung und forderte die Immersion als wesentliche Eigenschaft. Auch für Carolina Cruz-Nera, die Entwicklerin der CAVE-Softwarebibliothek, steht der Begriff Virtual Reality (VR) für eine immersive, multi-sensorische computergenerierte Nutzererfahrung.

Die im Fred-Brooks-Raum des MMLab aufgebaute 3-Seiten-CAVE nutzt zirkularpolarisiertes Licht für die Kanaltrennung zwischen den Augen, d.h. im Gegensatz zu den im o.g. Unterhaltungsbereich verwendeten Shutterbrillen (sog. aktive Stereoskopie) sind hier nur Polarisationsbrillen (ohne Elektronik, leicht, preisgünstig) erforderlich (passive Stereoskopie). Um dies zu erreichen, werden jedoch 6 lichtstarke Projektoren (XGA-Auflösung) benötigt, die von je einem Darstellungsrechner (jeweils ausgestattet

Abbildung 5: Diagramm der Rückkopplungsschleife der Interaktion zwischen Mensch und Modell der virtuellen Welt



mit einer Hochleistungsgraphikkarte Nvidia Quadro FX3800, Dual-Core Prozessor und 6GByte RAM) angesteuert werden. Somit sind auch für größere Szenen mit Bildraten oberhalb der ergonomischen Grenze für das Bewegtbild von 24 Hz darstellbar. Diese werden von einem



Abbildung 6: Virtual Reality Software Bedienoberfläche einer geladenen Szene, im Hintergrund die CAVE des MMLab

zentralen Rechner, der auch das Soundsystem und die Benutzerinteraktion verwaltet, angesteuert. Die kamerabasierte Bewegungsverfolgung übernimmt ein ART-Trackingsystem, das die Bewegungen des Flysticks und des Kopfes mit 60 Hz verfolgt. Dadurch wird eine als verzögerungsfrei empfundene Interaktion (Latenzzeit < 20 ms) mit akustischem Feedback sowie Immersion (durch Anpassung an die Blickrichtung) möglich. Zur Darstellung wird einmal das kommerzielle System der Fa. ICIDO zur Nutzung angeboten, es sind aber auch Opensourcelösungen verfügbar. Es handelt sich dabei um verteilte Softwaresysteme, die den geforderten Echtzeitanforderungen genügen.

tion oder Logik in einem frühen Stadium entdeckt und behoben werden. Dies spart Mehrkosten und kommt einem fließenden Entwicklungsprozess zugute.

Bei Anwendung von VR arbeiten Ingenieure mit den maßstabsgetreuen Modellen zukünfti-

Abbildung 7: Ergonomiestudie in der CAVE, Arbeitsbereich im oberen und Sichtbereich im unteren Teil des Bildes

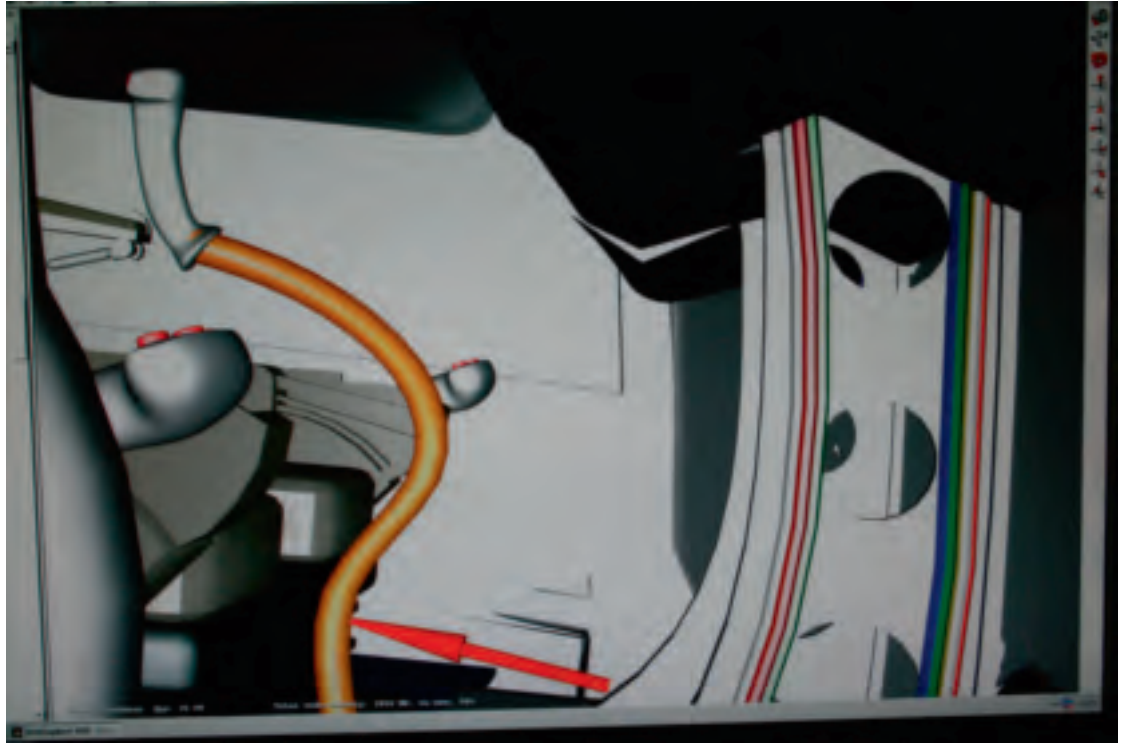
### 3 Technische Anwendungen der CAVE in Lehre und Projekten

Zunächst ist die MMLab-CAVE als Infrastruktur ein Musterbeispiel einer Mensch-Maschine-Schnittstelle, an der alle Aspekte von Ergonomie hervorragend studiert werden können, so dass ihre Benutzung sich als praktischer Pflichttermin für jede Ergonomieveranstaltung eignet.

Noch viel bedeutsamer ist es jedoch, in der Lehre den ökonomischen Nutzen deutlich machen zu können, der vom Einsatz von VR ausgeht. Durch frühzeitigen Einsatz von virtuellen Prototypen und Prozessen, auf Basis digitaler Konstruktions- und Simulationsdaten, können Entwicklungsfehler in der Konstruktion, Funk-



Abbildung 8: Collision Detection in der CAVE. Der rote Pfeil markiert den Kollisionspunkt.



ger Produkte. Dadurch können auch beim Zusammentreffen unterschiedlicher Interessen im Unternehmen verschiedene Entwurfsvarianten interaktiv durchgespielt und bewertet oder ergonomische Fragestellungen untersucht werden. Zunehmend wird VR schon von der ersten Idee der Produkt- und Prozessentwicklung bis zur Inbetriebnahme und Serviceleistung eingesetzt, um im Wettbewerb besser zu bestehen. Im industriellen Einsatz und zunehmend auch für kleine und mittlere Unternehmen sind beispielsweise folgende Bereiche von Interesse:

- Produktdesign: Fotorealistische Visualisierung unterschiedlicher Varianten und Konfigurationen unterstützt Kunden und Designer,
- Ergonomie für den Benutzer: Untersuchung benutzungsrelevanter Eigenschaften,
- Virtual Assembly mit Collision Detection,

also der digitale Zusammenbau von Komponenten zu Funktionseinheiten, Ermittlung von Ein- und Ausbaupfaden, auch Verlegen von Kabelsträngen oder Leitungen,

- Reparaturplanung: Fragen wie „sind Komponenten leicht zugänglich, sind Werkzeuge geeignet“ können beantwortet werden.
- Anlagenplanung – Ergonomie für den Arbeiter: Die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Produktionsablauf kann simuliert und verbessert werden,
- Analyse des Digital Mock-Up: Qualitätssicherung z.B. beim Versionsmanagement der CAD- und Produktionsdaten,
- FEM-basierte<sup>1)</sup> Simulationen: Interaktiv steuerbare Belastungssimulation komplexer Bauteile,
- CFD-basierte<sup>2)</sup> Simulationen: Interaktiv visualisierbare Strömungen, Analyse und Verdeutlichung von Problemen im 3D-Strömungsmodell

□ u.v.a.m.

Für einige solche Anwendungen können VR-Techniken in Studiengängen der Fakultät Technik und Informatik Einzug halten. Mit der MMLab-CAVE steht eine geeignete Infrastruktur zur Verfügung.

<sup>1)</sup> Finite-Element-Methode

<sup>2)</sup> Kontinuierliche Fluid-Dynamik

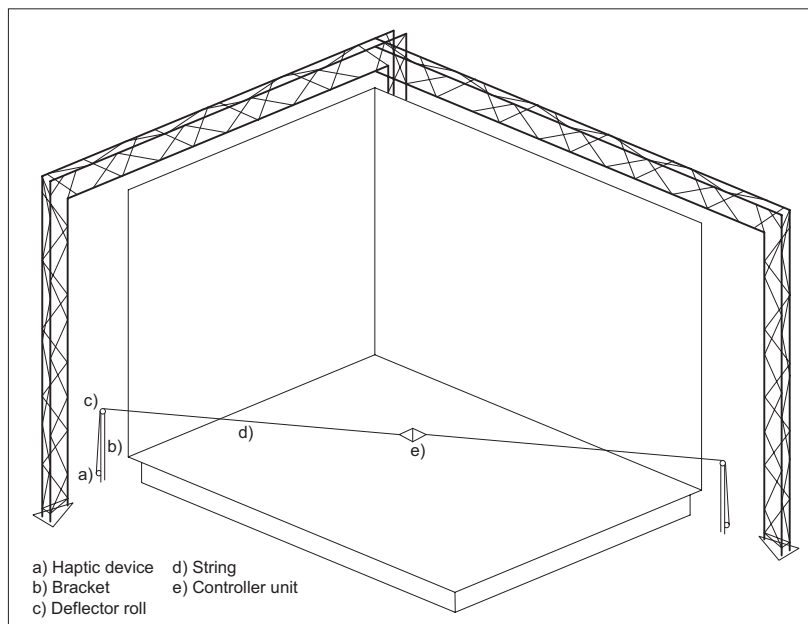


Abbildung 9: Installation des haptischen Interaktionsgeräts in der CAVE, um auf die Hand des Benutzers bei Oberflächenberührung eine Kraft auszuüben.

## 4 Ausblick: Eigenentwicklung von Interaktionsgeräten und Anwendungen

CAVE-Software gehört zur Klasse der in Teilen echtzeitfähigen verteilten multimedialen Systeme. Dabei ist die Entwicklung von 3D-Benutzerschnittstellen eine konzeptionelle Herausforderung [BKLP04], die von großem kommerziellen Interesse ist. Sie gibt Anlass zu Patenten und gelegentlich auch zur Vergabe von Preisen für gelungene Lösungen.

CAVE-Anwendungen bieten sich damit als Forschungs- und Entwicklungsprojekte in Masterkursen sowohl der Bereiche Informatik als auch der Elektrotechnik an. Wegen des Umfangs ist dabei die klare Definition von Schnittstellen zu vorhandenen Komponenten und eine klare Spezifikation der Anforderungen an zur Diskussion gestellte Komponenten von essentieller Bedeutung.

Für Studierende der Technischen Informatik oder der Elektrotechnik bietet sich die Entwicklung von Interaktionsgeräten als besonders spannende Herausforderung an. Aus der Spielebranche (Beispiel Wii) ist bekannt, wie sehr ein neues Interaktionsgerät die Interaktivität und Immersion verändern kann und wie viele neue Anwendungen darauf aufbauend möglich sind. Immersive Computerspiele können insbesondere dazu dienen, die Anwendbarkeit von Interaktionsparadigmen und Interaktionsgeräten zu zeigen.

Gegenwärtig wird im Rahmen einer Masterthesis ein haptisches Interaktionsgerät im MMLab entwickelt, um auf die Hand des Benutzers eine Kraft ausüben zu können, wenn er mit ihr in der virtuellen Szene gegen ein Objekt stößt [Sato02]. Die Anforderungen, die an das Gerät gestellt werden, sind eine Bewegungserkennung sowie Kraftrückkopplung auf der horizontalen Achse. Nachfolgend soll eine Installation in der CAVE erfolgen um einfache Simulationen mit einem Freiheitsgrad (1 DOF) zu ermöglichen, die für eine Reihe von Simulationen völlig ausreicht.

## Zusammenfassung

Die MMLab-CAVE ist für die Studierenden aller Departments der Fakultät nutzbringend: Virtual Reality (VR) ist ein Musterbeispiel für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, an der das multidisziplinäre Zusammenspiel technischer Echtzeitanforderungen mit der menschlichen Physiologie erarbeitet und eingeübt werden kann. Es beinhaltet Fragen der Optik und Farbtechnik bei der Projektionstechnik für das menschliche Auge, physikalisch-mechanische und elektrotechnische Fragen bei den Interaktionsgeräten für den menschlichen Körper und auch informations- und softwaretechnische Fra-

gen der einzusetzenden Hard- und Software für die Interaktivität. Diese Faktoren tragen maßgeblich zur Ergonomie des Gesamtsystems bei.

Darüber hinaus erlaubt die MMLab-CAVE Studierenden der Departments *Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau* und *Maschinenbau und Produktion*, sich von der Beschleunigung der Entwicklungsprozesse durch den Einsatz von VR in spezifischen Entwicklungsphasen zu überzeugen. Studierenden der Departments *Informations- und Elektrotechnik* und *Informatik* bietet sich die Gelegenheit zur Entwicklung neuer Interaktionsgeräte sowie von Hard- und Software für immersive 3D-Anwendungen.

## Literatur

[VirDosen]

Virtuelles Dosenwerfen, eine VR-Technikstudie, Version 1, 2005 und Version 2, 2007, <http://mmlab.haw-hamburg.de/typo4/Virtuelles-Dosenwerfen.122.0.html>

[Cave92]

Cruz-Neira, C., Sandin, D., DeFanti, T., Kenyon, R., Hart, J.: The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *Communications of the ACM* 35( 6), 1992, S. 65-72

[Brooks95]

Brooks, Jr., F.P. „The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering“, 20th Anniversary Edition. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995

[BKLP04]

Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J. and Poupyrev, I.: 3D User Interfaces: Theory and Practice. Addison-Wesley Professional, 1st edition, August 2004. ISBN 9780201758672.

[Sato02]

Sato, M.: Development of a string-based force display: Spidar. In: 8<sup>th</sup> International conference on virtual systems and multimedia (VSMM2002), Gyeongju (alias Kyongju), Korea, 2002.

[MMLab]

Homepage des Labors für Multimediale Systeme, <http://mmlab.haw-hamburg.de/>