

Aufbau und Entwicklung von Multimedia-Infrastrukturen und -Services für innovative E-Learning-Anwendungen

Ralf Einhorn, Nils Jensen, Stephan Olbrich, Karsten Chmielewski

Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen (RRZN) /
Learning Lab Lower Saxony (L3S) / Universität Hannover
Schloßwender Str. 5, D-30159 Hannover
[einhorn,jensen,olbrich,chmielewski]@rrzn.uni-hannover.de

Abstract: Der Beitrag befasst sich mit den Infrastrukturvoraussetzungen und Entwicklungspotenzialen netzverteilter Multimedia-Techniken zur Umsetzung technologiegestützter, innovativer Lehr- und Lernszenarien. Aus der Sicht eines Hochschulrechenzentrums (RRZN¹) werden in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum für Lerntechnologien „Learning Lab Lower Saxony“ (L3S²) – Mitglied des internationalen „Wallenberg Global Learning Network“ (WGLN³) – abgeschlossene Installationen sowie Entwicklungen dargestellt.

Die installierten Multimedia-Infrastrukturen – Multimedia-Raumausstattungen, Video-Kommunikationsdienste, 3D/Virtual-Reality-Systeme – wurden aus dem ursprünglichen Pilotstadium zu Referenzsystemen entwickelt, die zum Teil als Vorbild und Konzeptgrundlage für eine landesweite Umsetzung dienen. Entwicklungsbedarfe werden an zwei Forschungsprojekten des RRZN/L3S erörtert, in denen neuartige Ansätze zur Aufzeichnung von Lehrveranstaltungen und -materialien in verteilten Systemen entwickelt werden und netzverteilte 3D-Visualisierungstechniken adaptiert werden.

1 Einführung und Motivation

Das Multimedialabor (MML⁴) am RRZN beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit innovativen Multimediatechnologien in den Bereichen Audio/Video und 3D/Virtual Reality mit den Schwerpunkten Produktion und Postproduktion, Telekonferenzen, Streaming und Netzdienste. Dabei ist die enge Verzahnung von Entwicklung und Services festzustellen. So stellen alltägliche Anwendungen *und* neue Entwicklungen in Projekten Anforderungen an lokale Infrastruktur und zentrale, oft netzbasierte Dienste.

Neue Entwicklungen, insbesondere im Bereich E-Learning, können durch das Zusammenwirken von Infrastruktur und Projektarbeit zu alltäglichen Anwendungen weiterentwickelt werden. Weiterhin bestehen bei der Implementierung von Infrastrukturen und Diensten Berührungspunkte zwischen diversen Anwendungen, so dass auch hier Synergieeffekte zu beobachten sind.

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Basistechnologien zum Aufbau von Multimedia-Infrastrukturen und -Services beschrieben. Anschließend werden zukunftsorientierte technische Aspekte exemplarisch, anhand von zwei Projekten zur Entwicklung innovativer Werkzeuge für E-Learning-Szenarien des RRZN/L3S, dargestellt. Die Szenarien orientieren sich dabei an dem in Abb. 1 dargestellten Modell. Diese können wie folgt unterteilt werden:

- Client-Server-Beziehung:
 - Präsentation,
 - Exploration;
- Peer-to-Peer:
 - Diskussion,
 - Annotation;
- Sekundär-Nutzung:
 - Capturing,
 - Re-Play.

¹ www.rrzn.uni-hannover.de

² www.learninglab.de

³ www.wgln.org

⁴ www.mml.uni-hannover.de

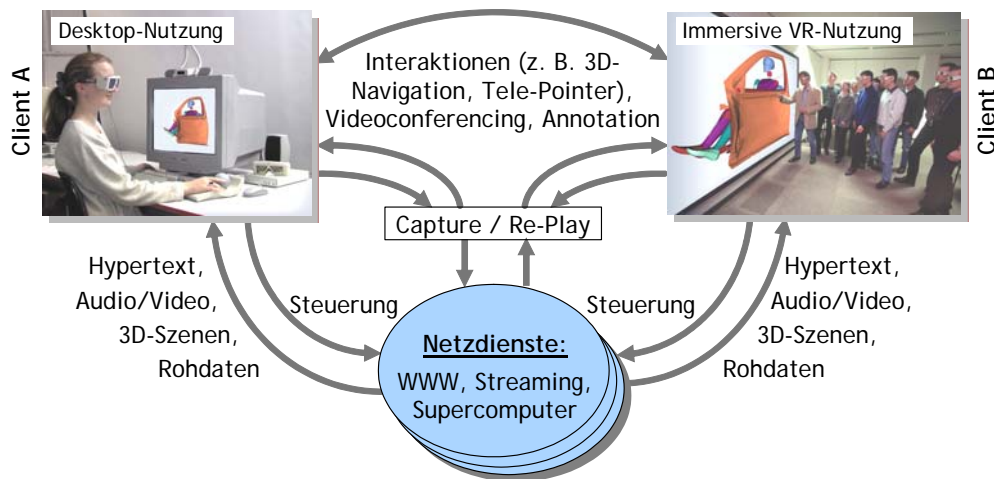


Abb. 1 Modellierung typischer Nutzungsszenarien – Präsentation, Exploration, Diskussion, Annotation, Capturing, Re-Play – in einem verteilten System, hier mit 2 Clients und einer Server-Infrastruktur

2 Aufbau von Multimedia-Infrastrukturen und -Services

2.1 Anwendungsszenarien für Multimedia-gestütztes E-Learning

Betrachtet man zunächst Anwendungen, die die Ausstattung von Seminarräumen und Hörsälen (die *lokale Infrastruktur*) betreffen, so gibt es ein breites Spektrum an Szenarien, die teilweise gemischt zum Einsatz kommen und im Folgenden exemplarisch aufgelistet werden.

- Lokale Präsentation oder Diskussion, unterstützt durch Multimedia-Technik wie z. B. Audio-/Video-Quellen und -Mischer, Projektoren, Lautsprecher.
- Video-Konferenzen oder -Übertragungen zwischen verschiedenen Hochschulen sowie zwischen Hochschulen und Studierenden, auf der Basis von Punkt-zu-Punkt- oder Mehrpunkt-Verbindungen (unidirektional und bidirektional). Hierbei werden oft parallel Application Sharing oder verteilte Anwendungen eingesetzt.
- Audio-/Video-Aufzeichnung, z. B. Mitschnitt in den oben genannten Szenarien oder im Studio.

Neben Systemen für die genannten Live-Anwendungen besteht der Bedarf an Systemen zur Bearbeitung und Publikation:

- Produktion von Multimedia-Präsentationen, z. B. Aufbereitung von Mitschnitten aber auch Verarbeitung von allgemeinen Video-Aufzeichnungen oder künstlich erzeugten Bilddaten, z. B. aus Simulationsprogrammen.
- Streaming, speziell von AV- (Audio/Video)-Inhalten zur effizienten Verteilung via Netz.

Im weiteren Sinne gehören auch Hochleistungsrechner zur Berechnung von Visualisierungsdaten für 3D/Virtual Reality zu dieser Gruppe.

2.2 Anforderungen und Standards

Entsprechend der Vielfalt und unterschiedlichen Ausprägung der Anwendungen werden an die Nutzung verschiedene Anforderungen gestellt. Im Folgenden werden die wichtigsten Anforderungen und eingesetzten Standards zusammengefasst.

- Einfache Nutzbarkeit lokaler Multimedia-Technik; Standard-Anwendungen (wie Präsentationen und Standard-Videokonferenzen) sind vom Nutzer selbst, anspruchsvollere Anwendungen mit Hilfe *eines* Betreuers durchführbar.

- Bei den meisten Videokonferenzen stehen spontane Nutzung, hohe Verfügbarkeit, Kompatibilität zu anderen Systemen und Multipunktfähigkeit bei mittlerer Audio/Video-Qualität im Vordergrund, was z. B. mit H.323-SetTop-Systemen erreicht wird. Bei hochqualitativen Videoübertragungen sind neben geringer Verzögerungszeit Ton und Bild in vom Fernsehen gewohnter Qualität relevant, wofür MPEG-2-Übertragungssysteme geeignet sind.
- Videoaufzeichnungen müssen für die Weiterverarbeitung (Editing, Encoding, Publikation auf CD/DVD und im Netz) bereits bei der Produktion eine gute Qualität aufweisen. Das DV-Video-Format bietet neben guter AV-Qualität die Kompatibilität zu verbreiteten Postproduktions-Systemen.

2.3 Konzepte und Arbeitsbereiche

Die Unterstützung von Multimediaetechnologie im RRZN bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Forschung und Entwicklung und dem Etablieren von (Regel-) Diensten. Für neue Technologien ergibt sich von der Einführung bis zum Einsatz in der Breite üblicherweise folgender Ablauf:

1. Evaluierung
2. Pilot-Implementierung, prototypischer Aufbau
3. Referenzeinrichtung
4. Standardisierung, Schaffung einer homogenen Infrastruktur
5. Produktionsbetrieb, Regeldienst und kostengünstige, nutzerfreundliche Lösungen

Die Standardisierung stellt eine weitgehende Kompatibilität sicher und ermöglicht so den Transfer von Know-how und Technik [OI01c]. Die gewonnenen Erfahrungen fließen unmittelbar in vergleichbare Installationen ein. Insbesondere für Kommunikationssysteme ist die Etablierung von Standards essenziell, wie sich z. B. an der zunehmenden Nutzung von Videokonferenzen seit der Verbreitung von H.323 in den Hochschulen erkennen lässt. Aber auch der Austausch von Daten bei der verteilten Bearbeitung etwa von Videos wird durch gemeinsam genutzte Standards vereinfacht.

Die unterstützten Technologiebereiche umfassen dabei schwerpunktmäßig die hochqualitative Audio/Videoübertragung, Mehrpunkt-Videokonferenzen, 3D/Virtual Reality sowie die Multimedia-Ausstattung von Hörsälen [OFD02].

Für die Arbeitsbereiche ergeben sich folgende Schwerpunkte:

- Evaluierung von Systemen
- Beratung von Einrichtungen
- Lokale Referenz- bzw. Labor-Installationen
- Gerätepools, Nutzung und Verleih
- Zentrale (Netz-) Dienste

2.4 Systeme

Im Folgenden werden einige Multimedia-Systeme detaillierter beschrieben. Zwischen den Systemen bestehen sowohl anwendungsbezogene als auch technische Schnittstellen. Auf Grund der vielfältigen Anwendungen bzw. deren Kombinationen und Anforderungen sind die aufgeführten Klassifikationen lediglich als exemplarisch zu betrachten.

Die unten aufgeführten Systeme wie H.323-Videokonferenz-Systeme (Endgeräte, zentrale Komponenten) und MPEG-over-IP-Codecs für High-Quality-Videokommunikation wurden vom MML/RRZN (z. T. in Zusammenarbeit mit der TU Clausthal u. a.) evaluiert und befinden sich im Regelbetrieb.

2.4.1 Videoübertragung

Videoübertragungen sind grundsätzlich in zwei Gruppen zu unterteilen: während unidirektionale (und damit nicht-interaktive) Anwendungen im Bereich **AV-Streaming** angesiedelt sind, werden bi- oder mehrdirektionale Verbindungen als **Videokonferenzen** bezeichnet. Insbesondere bei qualitativ hochwertigen Übertragungen kann für beide Anwendungen dieselbe Aufzeichnungs- und Präsentations-Technik eingesetzt werden.

Videokonferenzsysteme lassen sich in drei Hauptgruppen einteilen:

- Preisgünstige **Desktop-Systeme** ermöglichen Videokonferenzen auf Standard-PCs mit entsprechender Hardware-Erweiterung und eignen sich damit für einen großen Teilnehmerkreis. Insbesondere Hybridsysteme, in denen Teile des Codecs in Hardware realisiert sind, liefern für einfache Kommunikationsanwendungen passable Ergebnisse. Auf Grund der eingesetzten Technik (feste Kamera, oft Headset) können lokal nur ein oder zwei Personen an einer Konferenz teilnehmen.
- Typische **Raum-Systeme** bestehen aus Set-Top-Box und TV-Monitor/Projektor sowie Lautsprechern, basieren auf H.323 und zeichnen sich durch eine einfache Handhabung aus. Die bei üblichen Bitraten von 384 bis 768 kbit/s mit halber Fernseh-Auflösung erzielte Qualität genügt den meisten Ansprüchen. Mit Hilfe von Echo-Unterdrückung und einer steuerbaren Kamera können diese Systeme auch von Gruppen genutzt werden. H.323 ermöglicht zudem mit zentraler Infrastruktur die Durchführung von Mehrpunkt-konferenzen (siehe 2.4.2).
- **High-Quality-Systeme** liefern eine AV-Qualität, die mit der vom PAL-Fernsehen gewohnten vergleichbar ist. Diese eingesetzten Codecs werden grundsätzlich mit separater AV-Technik (Kameras, Mikrofone, Mischer usw.) gekoppelt. Typische Anwendungen hierfür sind z. B. die Übertragung von Vorlesungen oder medizinischen Operationen in Hörsäle. Insbesondere bei Vorlesungs-ähnlichen Live-Szenarien mit großformatiger Darstellung ist eine gute Ton- und Bildqualität essenziell. Als Übertragungsstandard hat sich hierfür MPEG-2 über IP etabliert.

Der Einsatz der vor einigen Jahren entwickelten Mbone-Tools führte auf Grund unzureichender Benutzbarkeit, Stabilität und AV-Qualität nicht zu einer breiten Akzeptanz. Daher wurden Ende 2000 vom RRZN nach erfolgter Evaluation zunächst 10 H.323 Set-Top-Systeme (Polyspan Viewstation SP) beschafft, die eine einfache Handhabung bei gleichzeitig guter AV-Qualität ermöglichen. Zusammen mit dem unten beschriebenen Mehrpunkt-Netzdienst ist mit dieser homogenen Infrastruktur in den letzten Jahren eine stetig steigende Nutzung von Videokonferenzen feststellbar [Ein01]. Dieser homogene Endgeräteansatz hat sich Niedersachsenweit als Standard etabliert und wurde auch auf die Kooperationspartner im Learning Lab übertragen. Dort sind bundesweit etwa 15 Set-Top-Systeme im Einsatz, die internationalen Kooperationspartner in Schweden und den USA verfügen ebenfalls über diese Ausstattung. Mehrpunktkonferenzen wie Projektbesprechungen laufen über die Mehrpunktinfrastruktur (siehe Abschnitt 2.4.2) in Hannover.

Für die hochqualitative AV-Übertragung werden die verbreiteten MPEG-over-IP Codecs von Amnis eingesetzt, die bei Bedarf als Blackbox in bestehende bzw. mobile Systeme integriert werden können. Hiermit ist bei typischen Bitraten von 1,5 (MPEG-1) bis 8 Mbit/s (MPEG-2) eine TV-nahe Qualität erreichbar, bei kleineren Bitraten mit einer Latenz von unter 300 ms. Neben der 1:1-Übertragung mit je einem Encoder-/Decoder-Paar eignet sich das System auch für Broadcast in Multicast-Netzwerken. Für den Empfang ist außer dem Hardware-Decoder auch ein Windows Software-Decoder verfügbar, der jedoch eine Verzögerung von mehreren Sekunden bei der Wiedergabe verursacht. Ein möglicher Einsatz hierfür ist die Übertragung von Vorlesungen in Wohnheime.

2.4.2 Netzdienste

Die im Videoübertragungsbereich angebotenen Netzdienste stellen die zentralen Komponenten bereit. Zwar sind vergleichbare Lösungen für Mehrpunktkonferenzen oder Streaming z. T. auch mit lokalen Systemen realisierbar. Für die kosteneffiziente Realisierung bietet sich hier jedoch die Implementierung als zentraler Dienst an.

- Für **H.323-Videokonferenzen** wird im MML/RRZN für Projekte der Hochschulen in Niedersachsen sowie die internationalen Mitglieder des Learning Labs eine leistungsfähige H.323-MCU (Multipoint-Conference Unit, für die AV-Datenverarbeitung) sowie der zentrale Gatekeeper (GK, für die Signalisierung) betrieben, der über den DFN-Country-GK in das weltweite H.323-GK-Netzwerk eingebunden ist. Neben dem projektspezifischen Einsatz [Fro03] und E-Learning-Anwendungen werden hierüber auch Projektbesprechungen, Workshops u. a. abgewickelt.

- Für das **AV-Streaming** von Live-Veranstaltungen und vorliegenden Videos wird ein Real Helix Streaming-Server eingesetzt. Nutzer dieses Dienstes können ihre AV-Dateien selbst über das Netz auf den Server übertragen. Der Abruf auf die Daten erfolgt über einen unabhängigen Webserver, so dass trotz eventuelle Änderungen oder Wartungsarbeiten am Streaming-Server ein unterbrechungsfreier Betrieb möglich ist. Der primäre Einsatzbereich ist E-Learning; so werden über den Server Vorlesungsaufzeichnungen verschiedener Institute verteilt.
- Ein **3D-Streaming-Server** wird für 3D/Virtual-Reality-Visualisierungsszenarien eingesetzt. Eine detaillierte Beschreibung befindet sich in Abschnitt 4.

Die vorgestellten Dienste befinden sich bereits seit längerer Zeit im Regelbetrieb.

2.4.3 Multimediaräume

Räume mit Multimediaausstattung (z. B. AV-Aufzeichnungstechnik für Live-Produktionen, 3D-Projektion) werden in den meisten Fällen nicht nur für eine Anwendung genutzt. Für den universellen Einsatz bestehen zum Teil gegensätzliche Anforderungen. So wird etwa für die Präsentation z. B. von 3D-Szenen oft ein abgedunkelter Raum bevorzugt, während für den Einsatz von Kameras möglichst viel Licht vorhanden sein sollte. Auf der anderen Seite können Systeme für die Video-Aufzeichnung auch für Tele-Konferenzen genutzt werden; Mikrofone können gleichzeitig für eine eventuell notwendige lokale Beschallung eingesetzt werden.

Weiterhin deckt das Stichwort „Multimediaräum“ eine weite Spanne von Installationen ab. Angefangen vom kleinen Videokonferenzraum bis hin zur Ausstattung eines großen Hörsaals entsteht mit den unterschiedlichen Anforderungen eine Variationsbreite. Orientiert an der Größe lassen sich drei Klassen von Räumen definieren:

- Besprechungsräume mit Platz für bis zu 10 Personen
- Seminarräume für bis zu 50 Personen
- Hörsäle für mehrere hundert Personen

Den Klassen lassen sich grob primäre Anwendungsbereiche zuordnen. Kleinere Räume eignen sich für interaktive verteilte Anwendungen bzw. Videokonferenzen besser. Insbesondere große Hörsäle mit einer großen Anzahl lokaler Teilnehmer eignen sich weniger gut für Telekonferenzen, da eine hochqualitative audiovisuelle Erfassung einzelner Personen Verzögerungszeiten hervorruft und damit den Ablauf stört. Größere Räume sind daher primär für Aufzeichnungen bzw. Live-Übertragungen nutzbar.

Für Videokonferenz-Anwendungen in Besprechungs- und Seminarräumen bieten sich in den meisten Fällen die in 2.4.1 beschriebenen H.323-Raumsysteme an. Wenn in Seminarräumen und Hörsälen eine separate Kamera- und Mikrofontechnik eingesetzt wird, können optional für die Videoübertragung geeignete Codecs als Blackboxes eingesetzt werden. So können (auch zeitgleich) MPEG-Codecs für hochqualitative 1:1-Verbindungen bzw. Broadcast, H.323-Geräte für Mehrpunktkonferenzen oder aus Kompatibilitätsgründen und Standard-Streaming-Systeme für die Verteilung eingesetzt werden.

Kameras sind für einen universellen und effizienten Einsatz komplett fernsteuerbar ausgeführt. Insbesondere bei schlechten Lichtverhältnissen macht sich bei preisgünstigen Kameras Bildrauschen bemerkbar. Diese hochfrequenten Anteile machen sich insbesondere bei der Kodierung (z. B. fürs Streaming) durch schlechte Bildqualität bzw. höhere Datenraten bemerkbar.

Neben technischen Aspekten ist bei der Konzeption primär die leichte Benutzbarkeit der Installation zu berücksichtigen, so dass insbesondere alltägliche Standardanwendungen einfach und ohne personalintensive Betreuung nutzbar sind (bzw. bleiben) und anspruchsvollere Aufgaben von einzelnen Betreuern beherrschbar sind.

In den letzten Jahren wurden vom MML/RRZN diverse Räume mit Multimediatechnik ausgestattet. Die Basis hierfür bildete die zunächst im Präsentationsraum des MML evaluierte Ausstattung. Zur Verdeutlichung der Konzepte sollen im Folgenden beispielhaft einzelne Aspekte zweier Installationen vorgestellt werden.

Multimedia-Seminarraum im Learning Lab

Der Multimedia-Seminarraum im Learning Lab (L3S, Expo Plaza, Abb. 2) bietet Platz für bis zu 60 Personen und ist als Mehrzweckinstallation sowohl für Standard-Anwendungen als auch für die Erprobung von neuen Technologien ausgelegt. Kernstück bilden drei nebeneinander angeordnete Rückprojektionen, von denen zwei als berührungssensitive SMART-Boards und die mittlere Projektion für die 3D-Präsentation in passiver Stereoprojektionstechnik (Aktiv-Passiv-Wandler, LCD-Beamer durch lineare Polarisationsfilter ergänzt, Betrachtung mit Polarisationsfilterbrillen, kompatibel mit Imax-3D) ausgeführt sind. Die Basisfunktionen (z. B. Videoquellenumschaltung und Lautstärke) sind über ein drahtloses Touchpanel der Medienraumsteuerung bedienbar.

Unterhalb der mittleren Projektionsfläche ist ein H.323-Set-Top-Gerät untergebracht, dessen Bild wahlfrei auf die Projektionen geschaltet werden kann. Für alltägliche Videokonferenzen kann dieses System von den Benutzern selbst bedient werden.



Abb. 2 Multimedia-Seminarraum im Learning Lab: Blick auf die Projektionen und in den Regiebereich

Für die Videoaufzeichnung befinden sich vier Kameras in dem Raum, die aus dem Regieraum gesteuert werden und dort die Eingangssignale für einen Bildmischer liefern. Das so von einem Betreuer hergestellte Videobild steht dann für beliebige Zwecke (Streaming, Aufzeichnung, Video-Konferenz) bereit und kann auch anstelle der integrierten Kamera das Bild für das vorhandene H.323-System liefern.

Kernstück der Audiotechnik ist ein digitales Mischpult, mit dem gleichzeitig die Signale für die lokale Beschallung, die Aufzeichnung und das Ausgangssignal für Video-Konferenzen erzeugt werden.

Semimobiles System im Audimax

Zurzeit im Aufbau befindet sich die Ausstattung des Audimax-Hörsaals der Universität Hannover mit Multimedia-Technik. Neben einer Aktualisierung von Standard-Geräten (Beschallung, Projektoren) bestand hier die Anforderung, eine qualitativ hochwertige AV-Aufzeichnungstechnik (Kameras, Mikrofone, Mischer) optional auch an anderen Standorten einsetzen zu können.

Zu diesem Zweck wurden die betroffenen Systeme (Kamerasteuerung, Vorschau-monitore, Mikrofonempfänger) in transportable 19"-Cases eingebaut. Drei fernsteuerbare Kameras auf Schwenk-/Neigeköpfen können mit einer speziellen Halterung sowohl auf Stativen als auch auf fest installierten Wandhalterungen fixiert werden. Für weitere Geräte (Ton- und Bildmischer, Mikrofone, Recorder, Scanconverter) wurden Transportboxen angefertigt.

Das mobile System wurde zusammen mit zwei bereits fest installierten DLP-Projektoren Anfang 2003 bei der Tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft erfolgreich eingesetzt (Abb. 3 links). Vortragsfolien und Bilder des Vortragenden wurden parallel in einen weiteren Hörsaal sowie via Real Streaming als SMIL-Präsentation ins Internet übertragen.

Im Sommer 2003 erfolgt der Einbau von Beschallungsanlage und Medienraumsteuerung sowie eines Regieriums (Abb. 3 rechts), in dem die Geräte des mobilen Systems eingesetzt werden. Auch hier werden Standardanwendungen wie Vorlesungen vom Vortragenden selbst durchführbar sein. Aufzeichnungen können zentral vom Regieraum gesteuert werden, so dass die Betreuung durch ein oder zwei Personen möglich ist.

Weiterhin werden die Projektoren für den optionalen 3D-Stereo-Einsatz mit Polfiltertechnik erweitert.



Abb. 3 Audimax: mobiler Aufbau, Regieraum (Entwurf)

2.4.4 Multimedia-Postproduktion

Der Bereich Multimedia-Produktion umfasst eine breite Palette unterschiedlicher Anwendungen, Formate und Systeme. Neben der klassischen Video-Nachbearbeitung (Editing) kommen zunehmend *Multimediasysteme* zum Einsatz, die verschiedene Formate (Bild, Text, Video, 3D) integrieren. Quellmaterial hierfür stellen sowohl rechnergenerierte Bildsequenzen als auch Aufnahmen realer Objekte (Experimente, Vortragsaufzeichnungen) dar. Die eingesetzten Authoring-Systeme erfordern in der Regel eine interaktive Bearbeitung durch den Benutzer und sind daher nicht für Batch- oder Netzdienste geeignet.

Umgekehrt werden Bildsequenzen aus der 3D-Visualisierung aufgrund verbreiteter Präsentationsmedien in Videos integriert. Auch müssen AV-Daten oft für verschiedene Publikationswege (z. B. DVD und Internet) unterschiedlich aufbereitet werden, so dass hier eine Reihe von Konvertierungssystemen eingesetzt wird.

Als Standard für Video hat sich in den letzten Jahren das DV (DigitalVideo) Format etabliert, das mit 25 Mbit/s bei M-JPEG-ähnlicher Kompression für die meisten Anwendungen eine gute Qualität liefert und mit preisgünstigen Systemen (Camcorder, Recorder, PC-basierte Schnittsysteme) erstellt und verarbeitet werden kann. Neben der Möglichkeit des verlustfreien Schnitts bietet es sich als ein Ausgangsformat für die Konvertierung in Transportformate niedriger Bitraten (wie MPEG-1/2/4 oder RealVideo) an.

2.4.5 Infrastruktur zur Hochleistungsvisualisierung

Zum Zweck der effizienten Aufbereitung komplexer wissenschaftlicher Ergebnisse, z. B. aus aufwändigen Experimenten oder numerischen Simulationen, sind 3D-Visualisierungsverfahren gebräuchlich. Diese können auch Rohmaterial für die oben beschriebenen Multimedia-Postproduktion erzeugen, dienen jedoch vor allem zur Realisierung hochinteraktiver Anwendungsszenarien, so genannter „Virtueller Labore“, in denen z. B. Supercomputer und Virtual-Reality-Techniken über Hochleistungsnetze gekoppelt werden können. Am RRZN wurden dazu Werkzeuge entwickelt, die auf einem Streamingsystem für 3D-Szenen beruhen und den Rückkanal für „Computational Steering“ nutzen (siehe Abschnitt 4.2.1).

Die Anfang 2003 am RRZN in Betrieb genommene Konfiguration zur Hochleistungsvisualisierung besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

Hochleistungsrechner für 3D-Rendering- und Server-Aufgaben

SGI Onyx3800, mit 18 CPUs R14000 600 MHz, 34 GB Hauptspeicher, 4 Grafikpipes InfiniteReality4 mit je 2 Ausgängen (Channel), 7 TB Plattenspeicher (SGI TP9100 mit 48 Stck. 146-GB-Platten) und 2 Gigabit-Ethernet-Interfaces.

2-Flächen-Stereo-Display „Holobench“

ICIDO IC:Bench (L-Shaped Bench), bestehend aus 4 LCD-Beamern (Epson EMP-9100) mit zirkularen Polarisationsfiltern und einem Projektionstisch mit zwei um 90° gegeneinander versetzten Projektionsebenen (Fläche: je 90 cm x 130 cm, Tischhöhe: 75 cm) zur 3D-Stereobetrachtung mittels Polfilterbrille und Tracking.

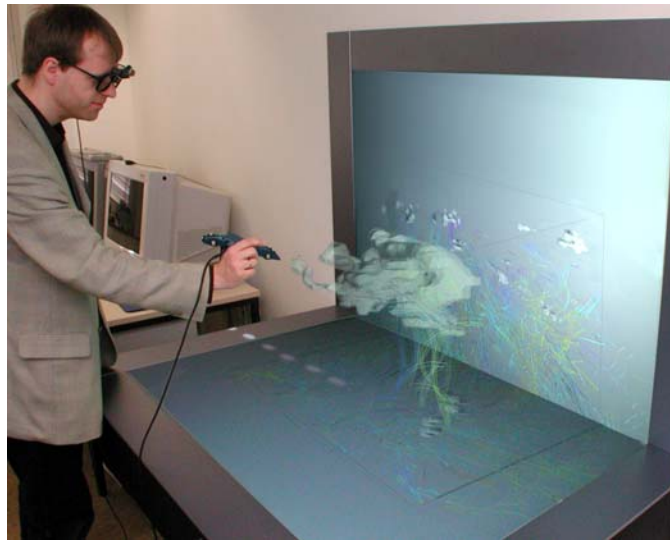


Abb. 4 2-Flächen-Stereodisplay „Holobench“ mit Polfilterbrille, Headtracking und Stylus

3D-Tracking- und -Interaktionsgeräte

Intersense IS-900 VWT, ultraschallbasiertes System zur Messung der Position und Orientierung von drei verschiedenen Sensoren: Headtracker, Stylus und Wand.



Abb. 5 3D-Sensoren des IS-900-Trackingsystems: Headtracker (an Brille), Stylus, Wand

Haptik-Display

Das Haptik-Display Sensable Phantom 1.5A besteht aus einem Roboterarm mit 6 Freiheitsgraden, der vom Benutzer über einen Stift geführt wird und per Motor punkt-basierte softwaregesteuerte Kraftrückkopplung bietet.



Abb. 6 Force-Feedback- und Trackingsystem PHANTOM, hier zusammen mit 3D-Betrachtung

2-Kanal-HDTV-Diskrecorder

2 Stck. DVS HD-Station, jeweils mit Gigabit-Ethernet-Interface, Synchronisierungseinheit zur Stereo-Wiedergabe.

Die *SGI Onyx3800* bietet vor allem leistungsfähige 3D-Grafik, die durch Multiprozessor- und Multipipe-Techniken hochgradig parallelisiert genutzt werden kann. Das integrierte RAID-System bietet genügend große Plattenspeicher-Kapazität mit relativ hohem Durchsatz zur performanten Zwischenspeicherung von Simulationsergebnissen (z. B. für die interaktive, animierte Darstellung von 3D-Szenensequenzen), aber auch zur Realisierung netzverteilter Visualisierungsanwendungen.

Mit der *Holobench* wird – in Zusammenhang mit dem Trackinggerät und der *SGI Onyx3800* – eine interaktive, intuitive, immersive 3D-Betrachtung aus verschiedenen Blickrichtungen (von vorn, oben oder seitlich) ermöglicht. Dieses Gerät zeichnet sich außerdem, verglichen mit anderen Holobench-Installationen, durch außerordentlich hohe Helligkeits- und Kontrastwerte sowie eine hohe Auflösung (SXGA+, 1366x1024 Pixel) aus. Die Nutzung ist daher bei üblicher Umgebungshelligkeit möglich, und es können auch feine Details abgebildet werden. Dieses 3D-Display ist als Einzelnutzerarbeitsplatz ausgelegt und stellt eine Ergänzung zu der bereits im Multimedia-Seminarraum des RRZN integrierten 3D-Stereorückprojektion dar, die für Präsentationen in Gruppen (z. B. Vorlesung, bis zu ca. 20 Teilnehmer) besser geeignet ist.

Anwendungsfelder liegen vor allem in Disziplinen vor, in denen komplexe, zeitlich veränderliche Phänomene explorativ visualisiert werden sollen. So können Ergebnisdaten aufwändiger Simulationsrechnungen – z. B. vom Norddeutschen Verbund für Hoch- und Höchstleistungsrechnen (HLRN⁵) – entsprechend aufbereitet werden.

3 Aufzeichnung von Präsentationen

Im Projekt VACE (Video/Audio Capturing and Embedding) entsteht ein Framework zur Aufzeichnung von Live-Präsentationen. VACE ist ein Submodul des Learning-Lab-Projekts PADLR (Personalized Access to Distributed Learning Repositories).

Das hierfür vorgestellte Framework nutzt als Basis zur Aufzeichnung, Produktion und Verteilung Systeme, die im Abschnitt 2.4 vorgestellt wurden. Die Entwicklungen von VACE und den eingesetzten Multimediainfrastrukturen stehen daher in unmittelbarem Kontext.

VACE bildet – im Gegensatz zu ähnlichen, zu diesem Zweck bereits verfügbaren Werkzeugen – ein modulares, netzverteiltes Framework, in das verschiedene Standardsysteme zur Präsentation, Aufzeichnung, Verarbeitung und Publikation integriert werden können und durch einen hohen Automatisierungsgrad die Zeit und den Aufwand zur Erstellung von anspruchsvollen Multimedia-Aufzeichnungen reduziert.

3.1 Motivation

Aufzeichnungen von Vorlesungen, Kursen usw. stellen für den Studierenden hilfreiche Informationsquellen dar. Die Aufzeichnungen unterstützen den individuellen Lernprozess und können im Internet oder auf CD-ROM/DVD bereitgestellt werden. Die elektronisch aufbereiteten Medien können zusätzlich zu Präsenzveranstaltungen eingesetzt werden (etwa zur Nachbereitung) oder diese ersetzen.

Die Audio- und Videodaten, der (virtuelle) Tafelanschrieb sowie die Medien und Interaktionen separater Präsentations- oder Kooperationswerkzeuge – von „PowerPoint“ bis hin zu 3D/VR-Tools, wie dem in Abschnitt 4.2 beschriebenen – müssen mit Zeitmarken aufgezeichnet und möglichst ohne Medienbruch zeitnah in ein E-Learning-System eingebunden werden.

Als problematisch bei der Produktion (Abb. 7) hat sich hierbei die aufwändige Erstellung und Nachbearbeitung der Aufzeichnungen herausgestellt, insbesondere wenn diese mit Lernmaterial anderer Medientypen sowie Metadaten verknüpft bzw. synchronisiert werden sollen. Diese Einbettung bildet jedoch die Voraussetzung für eine effiziente Nutzung, insbesondere um eine Navigation in dem aufgezeichneten Material zu ermöglichen.

⁵ www.hlrn.de

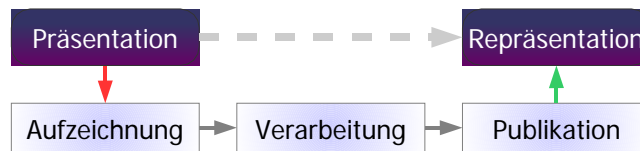


Abb. 7 Multimedia-Produktionskette

Es gibt eine Reihe von Aufzeichnungssystemen mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen, die in [Ein03] diskutiert werden. Beispielfhaft sind hier einige Eigenschaften aufgeführt.

- Reine Videoaufzeichnungen („Fernsehproduktionen“) sind relativ einfach live zu produzieren, stellen jedoch hohe Anforderungen an die verwendete Aufzeichnungstechnik und an den Wiedergabekanal. Die Zugriffsmöglichkeiten beschränken sich auf die vom Videorecorder bekannten Mechanismen (Spulen, Zeitmarken), die Einbindung weiterer Medien ist nicht unmittelbar möglich [NJ00].
- Monolithische Multimediasysteme wie das AoF-System [Mü00] ermöglichen eine exakte Wiedergabe von Whiteboard-Aufzeichnungen sowie eine sichere Synchronisation. Hierfür ist jedoch die Installation spezieller Software sowohl beim Vortragenden für die Erstellung der Inhalte als auch beim Benutzer erforderlich. Die Publikation erfolgt in der Regel über CD-ROM, Streaming wird nicht unterstützt.
- Kommerzielle Systeme wie Microsoft Producer oder Real Presenter sind einfach zu handhaben, aber beim Präsentationsmedium auf MS PowerPoint beschränkt. Ferner können Performanceprobleme auftreten, da – wie auch beim monolithischen System – Präsentation und AV-Aufzeichnung auf demselben PC ablaufen.

3.2 Systemarchitektur

Analysiert man die verschiedenen Anforderungsprofile, so ergeben sich folgende Ziele für eine universelle Architektur.

Ziele

- Für den gesamten Produktionsfluss sollen weitestgehend Standard-Werkzeuge unterstützt werden. Dies betrifft z. B. Präsentationswerkzeuge wie PowerPoint, aber auch AV-Formate und die zum Abspielen der Repräsentation benötigten Software beim Endnutzer. Das System muss auch für zukünftige Basissoftware erweiterbar bzw. anpassbar sein.
- Das Aufzeichnungssystem muss aufgrund der unterschiedlichen Präsentations-Szenarien (speziell der beim Live-Vortrag eingesetzten Medien) flexibel anpassbar sein. Wenn z. B. bei einer Konferenz kein direkter Zugriff auf die Präsentationsfolien möglich ist, müssen die angezeigten Inhalte über das Videosignal aufgezeichnet werden.
- Es sollen parallel mehrere Aufzeichnungen in geeigneten Formaten angefertigt werden (z. B. Videoaufzeichnung des Vortragenden plus Einzelbildfolgen der Projektion).
- Die manuelle (Nach-) Bearbeitung soll (z. B. durch weitgehende Automatisierung) minimiert bzw. vereinfacht werden, um eine zeitnahe Publikation der Aufzeichnung zu ermöglichen.
- Es sollen verschiedene Zielanwendungen (Multimedia-Präsentationen, Video-Editing, DVD-Authoring) unterstützt werden.
- Das erzeugte Material soll effizient nutzbar sein und in unterschiedliche Präsentations- bzw. E-Learning-Systeme eingebunden werden können.

Systemeigenschaften

Aus den genannten Forderungen ergibt sich eine modulare Systemarchitektur mit folgenden Eigenschaften.

- Das Framework muss den gesamten Produktionsfluss (Aufzeichnung, Postproduktion und Publikation, vgl. Abb. 7) unterstützen.
- Module implementieren Schnittstellen zu den eingesetzten Basissystemen oder – sofern keine verfügbar oder einsetzbar sind – bilden generische Tools (z. B. zur Aufzeichnung von allgemeinen Projektionsinhalten).

- Die Aufzeichnung (das „Capturing“) erfolgt verteilt: es können parallel mehrere Datenströme („Streams“) in adäquaten Formaten bzw. mit geeigneten Systemen aufgezeichnet werden. Hierdurch werden Restriktionen auf Grund von Performance oder Kompatibilität umgangen. So kann z. B. ein Vortragender zur Präsentation einen UNIX-Rechner einsetzen, während die AV-Aufzeichnung auf einem Windows-PC erfolgt. Ferner ist die räumliche Trennung beteiligter Aufzeichnungssysteme problemlos realisierbar.
- Als Basis für den verteilten Produktionsablauf dient ein kompaktes Metadatenmodell [Ein03], das konventionelle (inhaltsbezogene) sowie Synchronisations-Metadaten für einzelne Abschnitte der Aufzeichnungen enthält.

Der folgende Abschnitt beschreibt zunächst das zugrunde liegende Metadatenmodell. Anschließend wird das verteilte Capturing-System und die Nachbearbeitung beleuchtet.

3.3 VACE Metadatenmodell

Das für VACE entwickelte Metadatenmodell ermöglicht eine unabhängige Aufzeichnung auf synchronisierten Systemen und die effiziente Postproduktion und enthält ferner die Basisdaten für die Publikation.

Das Metadatenmodell basiert auf einem einfachen Präsentationsmodell, das bei der Live-Präsentation bzw. deren Aufzeichnung verwendete Medien zwei Klassen von Datenströmen unterscheidet: *zeitkontinuierliche* (z. B. die AV-Aufzeichnung des Vortragenden) und *zeitdiskrete* (z. B. Präsentationsfolien). Eine Präsentation (*presentation*) enthält eine beliebige Anzahl von *streams*, die wiederum verschiedene Ereignisse (*events*) enthalten. Die Ereignistypen sind abhängig vom Stream-Typ; so enthalten z. B. zeitkontinuierliche Videoaufzeichnungen Start- und Stop-Events.

Für die Abbildung einer Präsentation (und damit die Elemente des Metadatenmodells) sind zwei Arten von Metadaten relevant:

- **Inhaltsbezogene Metadaten**, zum einen gültig für die *gesamte Präsentation*. Dies entspricht den bekannten Metadatenmechanismen, in denen einer Ressource Daten wie Autor, Titel etc. zugeordnet werden. Dazu kommen Daten, die *Fragmente* (repräsentiert durch *events*) inhaltlich beschreiben, z. B. Stichworte einer benutzten Folie enthalten.
- **Synchronisations-Metadaten**: Zeitstempel, die einem Ereignis (z. B. Folienwechsel) der entsprechenden Zeit assoziieren. Medien wie z. B. Videos verfügen meist über eine von der Echtzeit abgekoppelte Zeitskala (Timeline). Basis für das VACE-System ist die (eindeutige) Echtzeit, so dass die involvierten Systeme z. B. über das Netz synchronisierte Uhren nutzen.

Mit Hilfe der Metadaten können die verschiedenen, unabhängig aufgezeichneten Mediendaten bei der Postproduktion synchronisiert werden.

Der entscheidende Vorteil der Assoziation von Inhalts- und Synchronisations-Metadaten besteht in der Nutzung für die Aufbereitung der Repräsentation. Da sämtliche Metadaten einer Aufzeichnung denselben Inhalt beschreiben, können z. B. die leicht zu generierenden Metadaten einer Folie zur Auffindung der entsprechenden Position in der AV-Aufzeichnung dienen, in der der Vortragende den Inhalt erläutert. Umgekehrt können bei kontinuierlicher Betrachtung der Video-Aufzeichnung auch die entsprechenden Folien angezeigt werden (Abb. 8).

Aus dem Metadatenmodell wurde ein XML-basiertes Datenformat abgeleitet, das sich für die Beschreibung der Inhalte auf Dublin Core Elementen zurückgreift und bei Bedarf erweiterbar ist. Zusätzlich wurden Elemente für die Synchronisation eingeführt [Ein03].

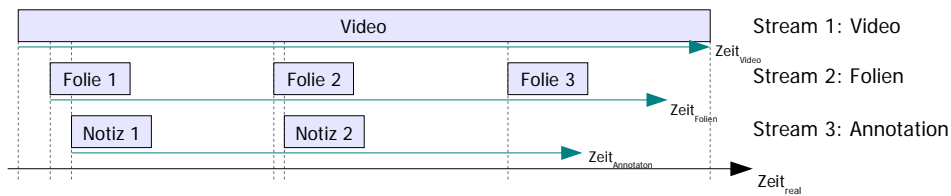


Abb. 8 Präsentation; Aufzeichnung paralleler Medienströme, gemeinsame Nutzung von Metadaten

3.4 VACE Capturing-System

Das verteilte Capturing-System (Abb. 9) ermöglicht die parallele, unabhängige Aufzeichnung von Mediendaten in unterschiedlichen Formaten mit unterschiedlichen Systemen. Optimal für die Erzeugung einer Repräsentation ist in vielen Fällen der Einsatz des bei der Live-Präsentation genutzten Originalformates, was jedoch nur in Einzelfällen realisierbar ist. So ist nicht zuletzt für die Aufzeichnung von Bild und Ton des Vortragenden grundsätzlich eine AV-Aufzeichnung erforderlich. Werden während der Live-Präsentation z. B. HTML-Seiten oder Powerpoint-Folien eingesetzt, ist es möglich, lediglich Synchronisationsdaten (Timestamp und Referenz auf die Datei/Seite) aufzuzeichnen, und für die Erzeugung der Repräsentation das Originalmaterial zu nutzen. Für allgemeine Anwendungen (oder wenn z. B. auf Tagungen ein Zugriff auf die Originaldaten bzw. den Rechner des Vortragenden nicht möglich ist) bietet sich die Verwendung von generischen Tools an, die neben den Mediendaten bereits direkt Metadaten im oben genannten Format erzeugen. Weiterhin ist ein Werkzeug für die manuelle Aufzeichnung von Notizen oder Gliederungsinformationen („Annotator“) hilfreich. Somit ergeben sich drei Klassen von Aufzeichnungsmodulen:

- Einbindung existierender Tools zur AV-Aufzeichnung bzw. zum AV-Encoding (z. B. AV-Realtime-Encoding Software)
- Einbindung existierender Tools zur Live-Präsentation (z. B. Webbrowser, Präsentations-Tools wie PowerPoint)
- Generische Tools (z. B. Image-Capturing für Projektionen, Annotations-Werkzeug)

Innerhalb dieser Klassen werden individuelle Module für die unterschiedlichen Basis-Tools bzw. Anwendungen implementiert. Grundlage für das Capturing-System bildet – wie in Abschnitt 3.2 erläutert – die reale Zeit sowie das in Abschnitt 3.3 beschriebene Metadatenformat.

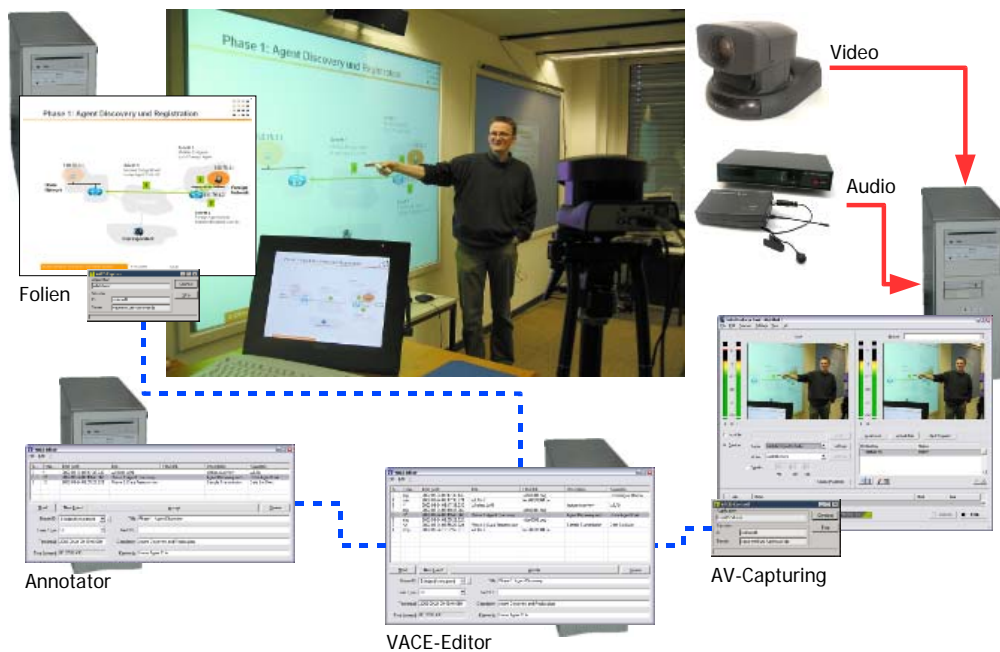


Abb. 9 VACE Capturing-System: Beispiel für die Aufzeichnung verschiedener Medien und Zusammenführung der Daten im VACE-Editor

Im Beispiel aus Abb. 9 sind die verschiedenen Capturing-Mechanismen erkennbar:

- Für die Aufzeichnung der Folien werden lediglich Synchronisationsinformationen aufgezeichnet, die die Zuordnung von Zeitpunkt und Foliennummer ermöglichen.
- Während der Aufzeichnung ist die Eingabe von Notizen und Gliederungsinformationen mit dem Annotator möglich. Als generisches Tool liefert der Annotator Metadaten im VACE-Format, die in diesem Fall auch die Nutzdaten enthalten.
- Für das AV-Capturing wird bereits bei der Aufzeichnung ein Standard Software-Encoder verwendet. Für die Integration in das VACE-Framework sorgt eine Wrapper-Applikation, die den Encoder steuert und die zusätzlich benötigten Metainformationen (wie etwa den Startzeitpunkt) erzeugt.

3.5 VACE-Postproduktion

Der nächste Schritt nach der Aufzeichnung besteht in der Nachbearbeitung; der Aufbereitung von Medien- und Metadaten für die Repräsentation bzw. Publikation. Hierbei können typischerweise folgende Arbeitsschritte nötig sein:

- Format-Konvertierung, Aufteilung von Mediendaten.
- Extraktion zusätzlicher Metainformationen aus den Mediendaten (z. B. Erkennung von Stichworten in Folien).
- Integration bzw. Zusammenführung der einzelnen Mediendaten.
- Festlegung von Start- und Endpunkt der Repräsentation.

In VACE werden die bei der Aufzeichnung generierten Metadaten im VACE-Editor zusammengeführt. Neben einer manuellen Nachbearbeitung und Ergänzung der Metadaten stehen damit die benötigten Daten zur Generierung von Repräsentationen in unterschiedlichen Formen zur Verfügung. So kann z. B. die Aufteilung einer AV-Aufzeichnung anhand von Zeitmarken der Folienwechsel gesteuert werden, eine HTML/SMIL-basierende Präsentation aus den vorliegenden Daten exportiert werden oder die Verschiebung von Daten z. B. auf einen Streaming-Server automatisiert werden. Standard-Abläufe können mit Hilfe von Vorlagen vereinfacht werden.

3.6 Fazit

VACE bietet die Basis für die effiziente Aufzeichnung von Vorlesungen, Vorträgen, Kursen und Tagungen für E-Learning- und Dokumentations-Anwendungen. Es werden Standard-Systeme integriert, so dass eine flexible Anpassung an aktuelle und zukünftige Aufzeichnungsszenarien und Medienformate möglich ist. Bei der Entwicklung des Frameworks werden intensiv Synergien aus dem Aufbau der in Abschnitt 2 erläuterten Systeme genutzt.

Neben der Integration weiterer Capturing- und Export-Module bietet das VACE-Framework diverse Erweiterungsmöglichkeiten. So ist die zentrale oder Event-basierte Steuerung der einzelnen Capturing-Module über das Netz ebenso denkbar wie – bei Verwendung geeigneter Präsentationstools – der Einsatz des Systems für Video-Konferenzen.

4 Tele-Immersion und Wissenschaftliche Visualisierung für E-Learning

4.1 Motivation

Die fortschreitende Digitalisierung und die damit einhergehende Konvergenz und Vernetzung neuer Medien ermöglicht den flexiblen Einsatz neuer Technologien in der höheren Ausbildung. Die Umsetzung von Konzepten zur Realisierung von E-Learning erfordert neben didaktischen Erwägungen die Etablierung und kontrollierte Nutzung von Computer-basierten Werkzeugen und Daten in heterogenen, interoperablen Infrastrukturen und Anwendungsfeldern. Erschwert wird dies durch die mangelhafte Standardisierung der Infrastrukturen. Eine Bereitstellung standardisierter, kostengünstiger Soft- und Hardware ist jedoch notwendig, denn nur sie gewährleistet nachhaltig die Etablierung eines Gesamtkonzepts, das die Schwächen derzeitiger Bildungssysteme eliminiert, Chancen neuer technischer Innovationen begreift und die Resultate dem täglichen Hochschul-Betrieb formativ und inkrementell zuführt. Der Einsatz der im Folgenden spezifizierten innovativen Technologien ermöglicht die Wiederverwendung und Vernetzung von neuartigen E-Learning-Werkzeugen. Nachhaltige Kostensparnis sowie Motivations- und Leistungszuwachs in der höheren Ausbildung sind das Ziel.

4.2 Das VASE-Projekt – „Visualization and Simulation in Education“

Die Visualisierung von Ergebnissen aufwändiger Simulationsrechnungen – bis hin zu „Grand Challenge“-Anwendungen – über Netzwerke ermöglicht den Einblick in Prozesse, die experimentell nicht durchführbar oder schwer zu analysieren wären [VD00; OI01b]. Verfügbare Systeme, die 3D-Visualisierung und numerische Simulation als „Virtual Lab“ verbinden, weisen eine Reihe von Unzulänglichkeiten auf, die eine praktische Nutzung sowohl im originären investigativen Bereich („E-Science“) als auch in Lehr-/Lernszenarien („E-Learning“) erschweren. Daraus leitet sich ein intensiver Forschungs- und Entwicklungsbedarf ab.

4.2.1 Basistechnologien für Online-Visualisierung und Simulationssteuerung – „Streaming“ und „Steering“

Die am RRZN entwickelte Visualisierungssoftware „DSVR“ gestattet es, die Module der Visualisierungspipeline auf verschiedene Rechner zu verteilen. Zu den charakteristischen Merkmalen gehören der Abruf von 3D-Animationen über ein Streamingverfahren sowie die Unterstützung von Interaktionen mit der Datenquelle, z. B. „Computational Steering“ über einen Rückkanal.

Streaming: Die maximale Darstellungsrate wird durch die Datentransport- und Rendering-Zeiten der einzelnen 3D-Szenen begrenzt. Die gewünschte Darstellungsrate wird vom Benutzer vorgegeben. Sollte diese Rate nicht erreicht werden, kann der Benutzer per Option zwischen den Alternativen entscheiden, entweder die vollständige Sequenz auf Kosten der Bildrate zu betrachten oder unter Beibehaltung der Intra-Stream-Synchronisation einzelne 3D-Szenen zu überspringen.

Im Wiedergabe-Modus stehen aus dem Video-Streaming bekannte Funktionen (*Wiedergabe, Pause, Zeitsprung*) zur Verfügung. Der Benutzer wird visuell über den Fortschritt der Wiedergabe der 3D-Sequenz informiert. Im Fall der Simulationsfernsteuerung, d. h. bei gleichzeitigem Ablauf von Simulationsrechnung und Visualisierung, kann zudem der Fortschritt der Simulation abgelesen werden. Wiedergabe und Simulation lassen sich durch die Option „track at end“ synchronisieren (Inter-Stream-Synchronisation).

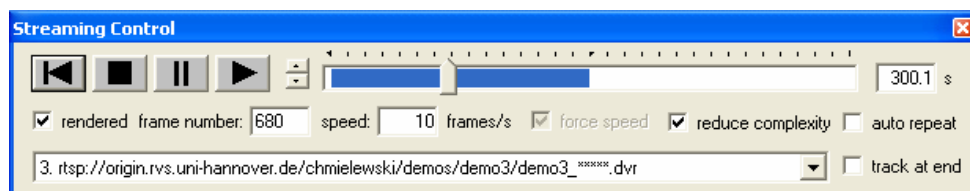


Abb. 10 Interaktionsmenü zur Ausspielung von 3D-Szenensequenzen

Steering: Bei Betrachtung von Resultaten einer simultan ablaufenden Simulation können Parameter mit Hilfe von Schiebereglern verändert werden. Die Auswahl der steuerbaren Parameter geschieht durch das Simulationsprogramm. Dabei kommen sowohl simulationspezifische Parameter, z. B. Druck oder Temperatur, als auch Parameter mit Einfluss auf die Visualisierung, z. B. Schwellwerte zur Iso-Oberflächendarstellung, infrage. Darüber hinaus erlaubt dieser Mechanismus eine zeitweilige Unterbrechung der Simulation, z. B. um Diskussionen ohne Voranschreiten der Simulation zu führen.



Abb. 11 Interaktionsmenü zur Fernsteuerung der Simulationsrechnung

4.2.2 Vom E-Science- zum E-Learning-Einsatz

Pädagogisch motiviert wird der Einsatz von Internet-Technologie zur Darstellung dieser ursprünglich für Wissenschaftler konzipierten interaktiven, synthetischen Experimente, weil die Arbeit an ihnen gruppendynamische Prozesse und eigenständiges Lernen in durch Tutoren begleiteten „virtuelle Teams“ fördert [Je03]. Aufgrund der Komplexität der Daten werden 3D-Visualisierungen eingesetzt. Um Navigation, Diskriminanz, Expressivität und Manipulationsfähigkeit zu unterstützen, werden VR („Virtuelle Realität“)-basierte Interaktionsgeräte benutzt, weil sie den Umgang mit virtuellen 3D-Umgebungen („Virtual Environments“, VE) effizienter und leichter abwickeln helfen. Abb. 12 zeigt ein Beispiel, vgl. [OI03].

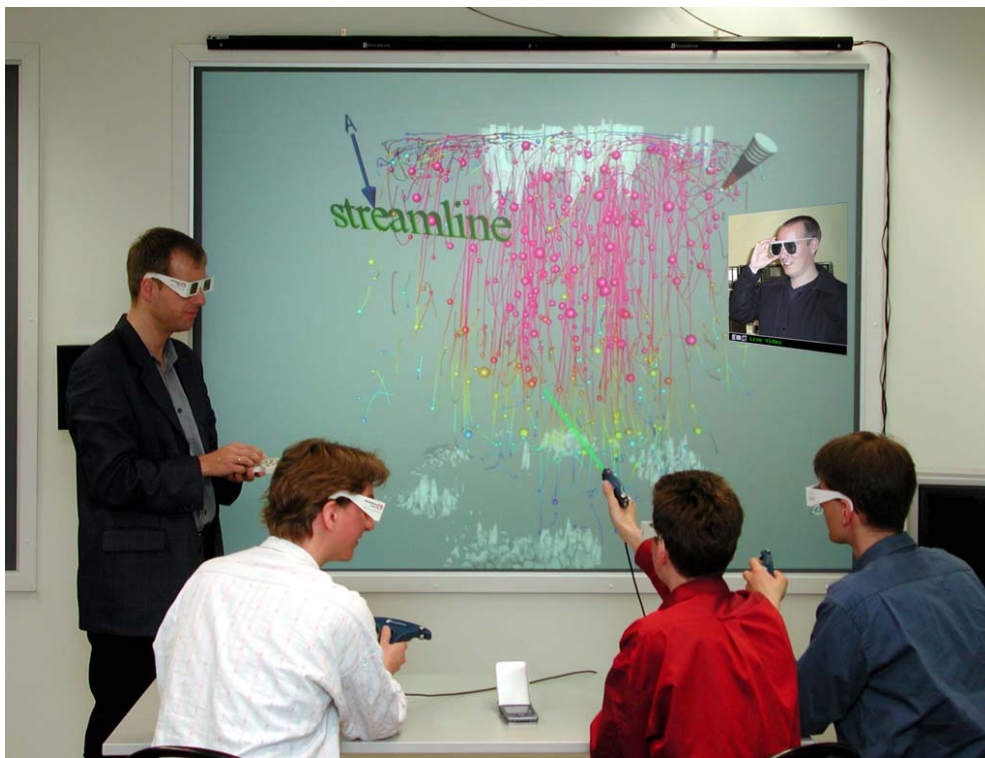


Abb. 12 Nutzer interagieren mit der Visualisierung einer meteorologischen Strömungssimulation im Multimedia-Seminarraum mit integrierter 3D-Projektion im RRZN.

Der folgende Teil von Abschnitt 4 spezifiziert eine in der Erprobung befindliche technische Basis für E-Learning in den Natur- und Ingenieurwissenschaften an Hochschulen, die diesen Anforderungen Rechnung trägt.

In Kooperation mit SweLL (Swedish Learning Lab, Verbund schwedischer Hochschulen), untersucht die Projektgruppe VASE 3 am L3S und dem Fachgebiet „Distributed Virtual Reality“ (RRZN / DVR) am Institut für Angewandte Systeme (Fachbereich Informatik) der Universität Hannover den technischen Aufbau und pädagogischen Einsatz von VR in kollaborativen E-Learning-Szenarien [Je02; OI03]. Ziel ist die Weiterentwicklung zweier Software-Systeme: CoVASE [Je03] und DocShow-VR (DSVR) [OI02; Je02]. Wir beschreiben die Neuerungen und die Art und Weise, wie Tutoren und Studierende die Systeme in Vorlesungen bedienen werden, um virtuelle natur- und ingenieurwissenschaftliche Experimente durchzuführen. Im Folgenden werden beide Systeme für E-Learning-Anwendungen spezifiziert. Sie unterscheiden sich untereinander nur in der Art der Darstellung und Interaktion mit der grafischen 3D-Benutzungsoberfläche.

Die erweiterten Merkmale basieren auf DSVRs Netzwerk-verteilter Streaming-Technologie zur Echtzeit-Generierung und -Übertragung von Sequenzen geometrischer 3D-Modelle [OI01b; Je02]:

- Verteilen und Darstellen von „Live-Ergebnissen“ wissenschaftlicher, komplexer numerischer Simulationen als 3D-Animation (Abb. 1).
- VR-basierte 3D-Benutzungsoberfläche mit grafischen Elementen zur Kollaboration
 - zwischen Nutzern und der entfernten Simulation über einen Server und
 - zwischen Nutzern an verteilten Standorten über Clients (CSCW / CSCL).
- Automatische Aufzeichnung („Capturing“) von Visualisierungen, entweder nativ 3D oder als Video.

DSVR wurde in den BMBF/DFN-Projekten „DFN-Expo“ und „Tele-Immersion“ entwickelt („DFN-Expo“: Innovative Informationsdienste [OI98; OI99], „Tele-Immersion“: VR / Grid / Gigabitnetze [OI01a; OI01b; OI02]). Es benutzt statt VRML [Vr97] ein eigenes binäres Format zum effizienten Transport von 3D-Grafikdaten. DSVR kann ohne Programmierkenntnisse vom Benutzer an verschiedene Anwendungen angepasst werden. Es ist für Wissenschaftler, Dozenten, Tutoren und Studierende in Vorlesungen, Übungen und Laborexperimenten nutzbar (siehe Abb. 13).

	Synchron	Asynchron
Gleicher Raum	<ul style="list-style-type: none"> • Physisch geteilter PC-Arbeitsplatz 	<ul style="list-style-type: none"> • Capturing • Audit • Datenbank
Verteilter Raum	<ul style="list-style-type: none"> • Videokonferenz • Audiokonferenz • Verteilte virtuelle Umgebung 	<ul style="list-style-type: none"> • Online-Dokumente • Persistente Streams

Abb. 13 Technologie für Szenarien in der Zeit- und Raum-Matrix (adaptiert von [Ba93, Kap. 1]).

CoVASE erweitert DSVR um SweLLs VASE-Plugin-Framework, eine in XML definierte 3D-Benutzungsoberfläche unter Verwendung von „Plugins“ (Dynamic Link Libraries, DLLs) zum Austausch von Nachrichten in Echtzeit. Mit ihr werden Kommandos von einem Client zum anderen transferiert und synchron ausgeführt.

4.3 Anwendungsfall

4.3.1 Hardware und Software

Multimedia: Die Nutzer sind über Arbeitsplatzrechner (PCs) und Video-Codex (s. Abschnitt 2.4.1) in einem IP-Netz (idealerweise Gigabit-Ethernet, insbesondere in Anwendungen mit besonders komplexen 3D-Szenensequenzen) miteinander verbunden. Mit einer Videograbber-Karte wird das Bewegtbild als 2D-Textur in die 3D-Szene eines Clients integriert. Zurzeit wird nicht der Ton in den Rechner eingespeist, was jedoch zur Synthetisierung von 3D-Klang notwendig wäre, um Partner innerhalb einer virtuellen Umgebung auch akustisch lokalisieren zu können.

Steuerung: Auf einem entfernten Computer stellt ein Programm den zu untersuchenden Prozess numerisch nach. Das Programm ist wie in [Je02] beschrieben mit einer Software verbunden, die die Ergebnisse jedes Simulationsschritts in 3D-Grafiken umwandelt und an einen Server schickt. Der Server repliziert diesen „Stream“ an die Clients. Die Visualisierung wird in einer grafischen Benutzungsoberfläche angezeigt. Studierende und Tutoren navigieren darin von verschiedenen Computern aus unter Einsatz von Maus und Tastatur.

Optional nutzen sie Teile der folgenden Hardware, die von DSVR und in Teilen von CoVASE unterstützt wird:

- 3D-Stereoskopie (nach Polarisationsfilter- und Shutter-Prinzip [St03]).
- L-Shaped Holobench und Großbildprojektion (siehe Abschnitt 2.4.5).
- Tracking- und Navigationsgeräte mit sechs Freiheitsgraden („6 DOF“), z. B. Logica3D-Spacemouse [Lo03], Intersense IS-900 [In03] und Sensable Phantom [Se03].
- Steuerung durch Spracherkennungs-Software (lingSDK [Ar03; Li03]).

Nutzer steuern Tele-Zeiger und Blickpunkte. Neu ist neben der Unterstützung der Holobench und des Trackers der Marke „Phantom“ [Se03] die Einbindung eines kommerziellen Sprachkontroll-Systems: Gesprochene Worte werden in von Software ausgeführte Befehle umgewandelt. Damit ist multimodales Arbeiten möglich, wenn z. B. Maus und Tastatur, wie in Seminarräumen üblich, nur beschränkt bedient werden können, weil der Vortragende mobil ist. In Arbeit ist zur Ergänzung der multi-modalen Fähigkeiten der Software die Einbindung von Kraftrückkopplung über die Phantom um das Ertasten von Szenen zu ermöglichen [Se03]. Denkbar ist für die Zukunft zudem die Bereitstellung einer Web-basierten Kontroll-Schnittstelle, die die Software wahlweise mittels eines Handhelds über WLAN steuern würde.

Synchronisierte Anzeige: Einige des „virtuellen Teams“ betrachten die Szene mit Shutter-Brillen [St03] an Einzelplatz-PCs, andere begutachten mit einfacheren Polarisationsfilter-Brillen auf eine Großleinwand projizierte 3D-Bilder. Der PC generiert für jedes Auge eines Nutzers ein individuelles Bild. Die Brille ermöglicht die Zuordnung des richtigen Blickpunktes auf die 3D-Szene vom PC zum korrespondierenden Auge, um räumliches Sehen zu begünstigen und somit die Erkennung von Merkmalen zu erleichtern.

Jede Aktion eines Clients wird an jeden anderen Client über eine auf eine zentral gelagerte geteilte Datenbank repliziert und dort ausgeführt damit die Sicht auf das Experiment und der Zustand des Experiments synchron bleiben [Je03; Si99, S. 108].

4.3.2 Untersuchtes Beispiel: Virtuelles Experiment in der Meteorologie

Nach dem Start der Simulation auf einem entfernten Server betrachten die Tutoren und Studierenden die animierte 3D-Visualisierung, z. B. Iso-Oberflächen und Stromlinien, die die Entstehung von Konvektionsströmung versinnbildlichen. Neben den eingangs erwähnten Video-Bildern von Gruppenmitgliedern in der 3D-Szene nutzen die Teilnehmer Tele-Zeiger, Text und Schnittflächen. Die Werkzeuge vereinfachen das Arbeiten zwischen entfernten Teilnehmern, da auch informelles Kommunizieren unterstützt wird. Die Simulation findet parallel in Echtzeit statt und wird über 2D-Menüs in DSVR gesteuert, bzw. in CoVASE in einem VE [Je03]. Die Software zeichnet Nutzungs-Protokolle (Audits) auf. Hierbei werden Kommandos nicht nur an andere Clients gesendet, sondern auch in einer Datei zum Abruf gespeichert. Alternativ wird eine Video-Sequenz von der dargestellten Szene vom Tutor aufgezeichnet und kann z. B. für spätere Vorlesungen abgespielt werden. In Arbeit ist das automatische „Capturing“ auf HDTV-Geräte für die Video-Nachbearbeitung, um z. B. stereoskopische Bildpaare mit hoher Qualität zu speichern und Vorlesungen damit multimedial zu unterlegen.

4.3.3 Evaluation

Wir führen zurzeit eine Feldstudie durch, in der die obigen Punkte durchgeführt werden, nach den Regeln einer sequenziellen Evaluation [Ga99]. Unsere heuristische Evaluation [OI03] zeigt, konsistent zu bisheriger Forschung, dass Navigation in 3D neue Arten der Interaktion fordert. Wieweit dies erforderlich ist und welche Anzeigemodi und Kollaborationswerkzeuge dem Lernen förderlich sind, werden eine formative und summative Studie bis September 2003 zeigen [Je03].

4.4 Diskussion

Das Basis-System DSVR ist stabil und wird bereits heute in der täglichen Forschung an den Universitäten Hannover und an der Universität der Bundeswehr in Hamburg mit ausgewählten Partnern genutzt und verbessert. Es ist für viele Anwendungen nutzbar und auch für das E-Learning in Gruppen von Studierenden interessant, da es zwar gängige VR-Hardware unterstützt, aber auch mit handelsüblicher Hardware und in jedem Web-Browser als „Plugin“ bedienbar ist. CoVASE eliminiert DSVRs Manko, dass Benutzungsoberflächen sich bisher nicht vollständig in die 3D-Szene einpassten und somit die stereoskopische Darstellung störten [Je03].

Das Streaming-Format ist proprietär, somit können keine Standard-„Plugins“ wie z. B. Apples Quicktime-3D genutzt werden, was für die Lehre aus Wartungs- und Kostengründen noch attraktiver wäre. Als leistungsmäßig ebenbürtiger Standard zu DSVRs Streaming-Format käme MPEG-4 BIFS in Betracht [Ho02]. Es hat den Nachteil, dass die Sequenz zur Anzeige einer Szene zuerst die 3D-Objekte enthält, die erst vollständig übertragen werden und danach deren Position in der Szene. Für Betrachter dynamischer Sequenzen ist dies unzumutbar, weil ein kompletter Frame zu puffern und darzustellen ist, anstatt den Frame mit dem ersten Eintreffen von Daten bereits partiell korrekt anzuzeigen. Unser Format hat nicht diese Beschränkung und erreicht zudem hohe Entropie (im Mittel 10 % Redundanz) ohne zeitaufwändiges Komprimieren und Dekomprimieren, da es binär codiert ist. Allerdings ist eine formale Messung noch ein offener Punkt, den wir in der Zukunft angehen werden. Zur Vereinfachung der Datengenerierung ist ein VRML-Konverter verfügbar.

Die Darstellung erfolgt über die Grafikbibliothek OpenGL, da wir aus Performance-Gründen C verwenden und plattformunabhängig bleiben wollen, das heißt unsere Suite läuft auf Unix, Linux und Windows. Java3D-basierte Lösungen sind potenziell langsamer als für Prozessoren und Rechner angepasste Lösungen, sobald komplexe Szenen topologischen Modifikationen unterworfen sind und über Netzwerk übertragen werden. Es werden auch nicht wie bei vergleichbaren Systemen Video-Streams übertragen, da dies die flexible Handhabung und das „Capturing“ einschränkt wie z. B. bei SGIs VizServer [SG03], was der Wiederverwertung in Vorlesungen und als Online-Übungsmaterial abträglich wäre. Offline-Videomaterial würde von beiden Lösungs-Ansätzen unterstützt, da hier lediglich die Video-Frames persistent zu halten wären. In Zukunft sollen jedoch auch, wie vorher erwähnt, Szenen erstastbar sein, um noch komplexere Modelle darzustellen, was nicht mit 2D-Video-Material realisierbar ist, sondern Volumen-Daten erfordert.

Der Ansatz von DSVR und CoVASE in der Lehre ist neu, weil im Gegensatz zu gängigen Post-Mortem-Visualisierungsmethoden, z. B. zu finden in AVS [AV03], die Visualisierung parallel zur Simulation stattfindet. Simulation und Visualisierung werden über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle von mehreren gleichzeitig gesteuert („collaborative visualization“, „computational steering“). Somit eröffnen sich für Studierende Möglichkeiten, die sonst nur Wissenschaftlern in ihren Laboren vorbehalten blieben. Wissenschaftler haben die Möglichkeit, schneller und einfacher ihre Arbeitsergebnisse in der Lehre anzubringen und aktuell zu halten.

VR-Hardware kann bisher aufgrund fehlender Installationen und der in der Anschaffung höheren Kosten nicht flächendeckend eingesetzt werden. CoVASE ist eine ebenbürtige, noch modularere Alternative zu DSVR. Es ist besser geeignet für Nutzergruppen ohne Spezial-Interaktionsgeräte, da es mehr Interaktions-Modi und -Metaphern ohne VR-Hardware unterstützt, wenn auch mit Beschränkung in der flexiblen und intuitiven Handhabung. Es ist leichter erweiterbar und wartbar. Durch die Auslagerung der Spezifizierung der 3D-Benutzungsfläche in einer XML-Datei ist eine leichtere Anpassbarkeit an Lernumgebungen erreicht, obwohl ein grafischer Editor noch komfortabler zu bedienen wäre und dessen Entwicklung daher langfristig anzustreben ist. Ein weiterer Vorteil ist elementarer: mittels Metadaten wird die Datei indizierbar und somit auffindbar zur Wiederverwendung in vernetzten Universitäten. Zusammen mit vordefinierten Komponenten zur Mensch-Maschine- und Mensch-Maschine-Mensch-Kommunikation erstellt ein Tutor ohne Programmierkenntnisse verteilte virtuelle 3D-Lernumgebungen für kleinere Lerngruppen. Größere parallel arbeitende Gruppen (über 20) werden nicht unterstützt, weil dies pädagogisch unbegründet wäre und somit der höhere Aufwand in der Bereitstellung komplexerer, weniger spezialisierter Software [Ben98] hinterfragt werden müsste. Vergleiche zwischen DSVR und CoVASE bis September 2003 sollen vielmehr in der Zukunft eine Abschätzung der Nutzbarkeit und Lernbegünstigung ermöglichen und der technischen Verbesserung der Systeme dienen.

4.5 Fazit

Vielfach wurde geäußert, die Virtuelle Realität sei die Lösung auf der Suche nach einem Problem. Dieses Bonmot trifft aus folgenden Gründen nicht mehr zu:

- Nicht die Synthetisierung der Realität ist das Ziel der Virtuellen Realität (ähnlich des Wandels von der Künstlichen Intelligenz zur wissensbasierten Datenverarbeitung), sondern die selektive Kopplung ihrer Basistechniken in einem aufgabenbezogenen Kontext. Daher ist der Begriff Virtuelle Umgebung dem Begriff Virtuelle Realität vorzuziehen.
- Qualitativ hochwertige Hardware ist bezahlbar. Somit ist es in Bereichen einsetzbar, denen bisher die Technik verschlossen blieb (z. B. der Lehre).
- Forschungs- und Entwicklungsszenarien sind vermehrt auf Lösungen zur 3D-Visualisierung angewiesen, z. B. in der Fahrzeugindustrie und vermehrt in den Naturwissenschaften. Multimedia-Infrastrukturen stellen hardwareseitig die notwendigen Dienste bereit.

Noch fehlen generalisierte Design-Richtlinien zur ergonomischen Gestaltung von 3D-Umgebungen, um den Umgang mit den 3D-Systemen zu verbessern. Zudem ist die Wiederverwendbarkeit zurzeit verfügbarer Software noch nicht hinreichend. Der Wunsch nach höchstmöglicher Generalisierbarkeit auf der einen, und der adäquaten Einpassung in individuelle Anwendungsszenarien auf der anderen Seite mit *einem* System ist begrenzt. Weiterer Forschungsbedarf ist daher vorhanden, um dieses Spannungsfeld auflösen zu können.

Literaturverzeichnis

- [Ar03] Armbrust, C.: Integration einer Spracherkennungssoftware in eine Virtual-Reality-Umgebung. Studienarbeit am Fachgebiet Distributed Virtual Reality, Universität Hannover. 2003.
- [AV03] AVS. Web-Seite auf <http://www.avs.com>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [Ba93] Baecker, R. M.: Groupware and Computer-Supported Cooperative Work. Morgan Kaufmann, 1993.
- [Ben98] Benford, S.; Greenhalgh, C.; Reynard, G.; Brown, C.; Koleva, B.: Understanding and constructing shared spaces with mixed-reality boundaries. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 5(3), 1998, S. 185-223.
- [Ein01] Einhorn, R.; Fromme, M.; Mehrpunktkonferenzen in homogenen Umgebungen, BZVD-Workshop, Dresden, 19.09.2001. http://vcc.urz.tu-dresden.de/Projektkalender/ws_2001-09-19/mehrpunkt.pdf (Vortrag).
- [Ein03] Einhorn, R.; Olbrich, S.; Nejdil, W.: A Metadata Model for Capturing Presentations. Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Athens, Greece, 2003.
- [Fro03] Fromme, M.; Einhorn, R.; Zeilhofer, H.-F.; Sader, R.: INTER-FACE – Ein telemedizinisches Konferenzsystem zur Operationsplanung in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, DFN-Mitteilungen, Heft 61, März 2003. S. 18-21.
- [Ga03] Gabbard, J. L.; Hix, D.; Swan, E. J.: User Centered Design and Evaluation of Virtual Environments, IEEE Computer Graphics and Applications, 19(6), 1999, S. 51-59.

- [Ho02] Hosseini, M.; Georganas, N. D.: MPEG-4 BIFS Streaming of Large Virtual Environments and their Animation on the Web, Proceedings of 7th International Conference on 3D Web Technology, 2002, S. 19-25.
- [In03] Intersense. Web-Seite auf <http://www.intersense.com>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [Je02] Jensen, N.; Olbrich, S.; Pralle, H.; Raasch, S.: An Efficient System for Collaboration in Tele-Immersive Environments. Proceedings of 4th Eurographics / ACM SIGGRAPH Workshop on Parallel Graphics and Visualization, Blaubeuren, Germany, 9.-10.09.2002, S. 123-131.
- [Je03] Jensen, N.; Seipel, S.; Nejd, W.; Olbrich, S.: CoVASE - Collaborative Visualization for Constructivist Learning. CSCL Conference 2003 - 5th International Conference on Computer Support for Collaborative Learning, Bergen, Norway, 14.-18.06.2003.
- [Li03] Lingcom. Web-Seite auf <http://www.lingcom.de>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [Lo03] Logicad. Web-Seite auf <http://www.logicad3d.com>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [Mü00] Müller, R.; Ottmann, T.: The „Authoring on the Fly“ system for automated recording and replay of (tele)presentations, Multimedia Systems 8 Issue 3 (2000), pp 158-176.
- [NJ00] Naegele-Jackson, S.; Gräve, M.; Eschbaum, N.; Holleczeck, P.: Distributed TV Productions and Video-on-Demand Services at Universities (UniTV). TERENA Networking Conference 2000, Lisbon, Portugal, 05/2000, <http://www.uni-tv.net>
- [OFD02] Oberfinanzdirektion Niedersachsen (Hrsg.): Multimedia-Räume an den Niedersächsischen Hochschulen, Hinweise zur baulichen Umsetzung. 2., überarbeitete Auflage, März 2002.
- [OI98] Olbrich, S.; Pralle, H.: High-Performance Online Presentation of Complex 3D Scenes. In: van As, H. R. (Hrsg.): IFIP International Conference on High Performance Networking (HPN '98), Vienna, Austria, September 1998. Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [OI99] Olbrich, S.; Pralle, H.: Virtual Reality Movies – Real-Time Streaming of 3D Objects. In: Computer Networks – The Challenge of Gigabit Networking (Selected papers from the TERENA-NORDUnet Networking Conference 1999, June 7-10, 1999, Lund, Sweden), Elsevier, Vol. 31, No. 21, 1999.
- [OI01a] Olbrich, S.; Pralle, H.; Raasch, S.: Using Streaming and Parallelization Techniques for 3D Visualization in a High-Performance Computing and Networking Environment. HPCN 2001 – International Conference on High Performance Computing and Networking Europe, Amsterdam, Netherlands, 25.06.-27.06.2001. In: LNCS, Vol. 2110, Springer, 2001, S. 231-240.
- [OI01b] Olbrich, S.; Pralle, H.: A Tele-Immersive, Virtual Laboratory Approach based on Real-Time Streaming of 3D Scene Sequences. Proceedings ACM Multimedia Conference 2001, Ottawa, Kanada, 30.09.-05.10.2001.
- [OI01c] Olbrich, S.; et al.: Hinweise zur Beantragung der Phase 1 im Rahmen der „Ausschreibung zur Förderung von Mehrwert-Infrastrukturen für Multimedia in Lehre, Studium und Weiterbildung an Hochschulen in Niedersachsen“, 28.09.2001.
- [OI02] Olbrich, S.; Weinkauff, T.; Merzky, A.; Knipp, H.; Hege, H.-C.; Pralle, H.: Lösungsansätze zur Visualisierung im „High-Performance Computing und Networking“-Kontext. 16. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze in Düsseldorf, 21.-24.05.2002. In (von Knop, J.; Haverkamp, W.; Hrsg.): Zukunft der Netze – Die Verletzbarkeit meistern. GI-Edition - LNI, P-17, Köllen Verlag, Bonn, 2002; S. 269-280.
- [OI03] Olbrich, S.; Jensen, N.: Lessons Learned in Designing a 3D Interface for Collaborative Inquiry in Scientific Visualization. Proceedings of HCI 2003 – International Conference on Human-Computer Interaction, Crete, Greece, 2003.
- [Se03] Sensable. Web-Seite auf <http://www.sensable.com>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [SG03] SGI. Web-Seite auf <http://www.sgi.com/software/vizserver/>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [Si99] Singhal, S.; Zyda, M.: Networked Virtual Environments: Design and Implementation. 1999. Addison-Wesley.
- [St03] Stereographics. Web-Seite auf <http://www.stereographics.com>. Zugriff am 21. Mai 2003.
- [Vr97] VRML-Konsortium. ISO/IEC-Standard 14772:1997 auf http://www.web3d.org/technicalinfo/specifications/ISO_IEC_14772-All/index.html. Zugriff am 30. Mai 2003.