

CG Mixed Reality Architectural Workspace

Andreas Behmel, Josef Gründler, Wolfgang Höhl, Thomas Kienzl, Heimo Sandtner

(Dipl.-Ing. Andreas Behmel, FH JOANNEUM, 8020 Graz, andreas.behmel@fh-joanneum.at)

(Prof. Dr. Josef Gründler, FH JOANNEUM, 8020 Graz, josef.gruendler@fh-joanneum.at)

(Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Wolfgang Höhl, FH JOANNEUM, 8020 Graz, wolfgang.hoehl@fh-joanneum.at)

(Dipl.-Ing. Thomas Kienzl, KOMMERZ KEG, 8020 Graz, inbox@kommerz.at)

(Dipl.-Ing. Dr. mont. Heimo Sandtner, FH Campus Wien, 1100 Wien, heimo.sandtner@fh-campuswien.ac.at)



Fig. 1: Entwurf und Simulation in einer Realtime-3D-Anwendung mit „Natural Interface“

1 ABSTRACT

Gestalten Sie ihr Einfamilienhaus in Echtzeit-3D! Diese Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Umsetzung eines computergestützten Mixed Reality Präsentationssystems für die Firma Haslerhaus GmbH. & Co KG. Realisiert wurde dieses System mit Unity in einem Kommerz MRI Framework. Das System besitzt zur Zeit zwei wesentliche Komponenten: (A) einen virtuellen Baukasten zur Bemusterung und (B) eine Echtzeit-Simulationsoberfläche mit virtuellem 3D-Walk-Through und einer integrierten Sonnenstandssimulation. Vergleichbare Entwicklungen von Collaborative Virtual Environments (CVE) nennen Ponto, Doerr, Wypych, Kooker und Kuester (2011), Künz, Donschewa und Weber (2007), Tizani (2011), Peña-Mora, Golparvar-Fard, Aziz und Roh (2011), Yabuki (2011), Yi-Luen Do (2011) und nicht zuletzt Ren und Tang (2011). Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Fragestellung, in wie weit der herkömmliche Entwurfsprozess durch interaktive computergestützte Werkzeuge verbessert werden kann. Der hier präsentierte CG Mixed Reality Architectural Workspace vereinfacht den Entwurfsprozess durch eine evolutionäre, iterative Vorgehensweise, kombiniert mit einem benutzerfreundlichen, intuitiven Interface.

Der traditionelle Entwurf entsteht in einer Reihe von Iterationsschritten in verschiedenen Medien (Gespräch, Skizze, CAD-Planung und manuelle Korrekturen). Das hier vorliegende Modell (Realtime 3D-Anwendung mit „Natural Interface“) bildet eine gemeinsame digitale Plattform, kann ohne spezielle CAD-Kenntnisse bedient werden, reduziert die Medienvielfalt, vereinfacht die Benutzerinteraktion und macht den Entwurf unmittelbar erlebbar. Mehrere iterative Entwurfsschritte können so in kürzerer Zeit erfolgen. Umgesetzt wurde dieses Projekt mit der 3D-Echtzeit-Engine Unity, integriert in ein Mixed-Reality-Interface. Momentan existiert das System als Mixed-Reality-Installation mit optischem Tracking. Die MRI Plattform erlaubt aber auch, unterschiedlichste Hard- und Software gemeinsam einzubinden. Interessant erscheinen dabei Kombinationen eines 3D-Walkthrough über optische Marker und die simultane Sonnenstandssimulation über einen Tablet-PC. Vorteilhaft gegenüber anderen Entwicklungen ist die einfache Verständlichkeit auch für ungeübte Benutzer und die intuitive Bedienbarkeit über optische Marker. Im Endergebnis generiert das System auch einen personalisierten Prospekt mit selbst entworfenen Hausvarianten. Zukünftig denkbar wäre die Erweiterung des virtuellen Baukastens und des Simulationstools zu einem umfassenden Werkzeug für den interaktiven Echtzeit-Entwurf. Dieses Paket würde in dieser erweiterten Form die Entwicklung des Raumprogramms unterstützen, aber auch die Möblierung, Beleuchtung, die gesamte Innenraumgestaltung und die nachfolgende Simulation.

2 VIRTUAL ENVIRONMENTS – RAUM, ZEIT UND ORGANISATION

2.1 Genereller Aufbau von Collaborative Virtual Environments (CVE)

Ausführlich beschreibt Maher [2011] die Einbettung virtueller Werkzeuge in den Gestaltungsprozess und die daran beteiligten Elemente. Als grundlegendes Charakteristikum virtueller Ambiente sieht sie den Kommunikationsprozess im Mittelpunkt, der nun oft non-lokal, über digitale Medien abgewickelt und gesteuert wird. Maher legt den Schwerpunkt der Bewertung eines CVE auf kommunikative und koordinierende Aufgaben und entwickelt sechs Anforderungen:

- Managing collaborative design processes
- What you see is what I see (WYSIWIS)
- Chance meetings
- Peripheral awareness
- Non-verbal communications
- Designing for two worlds (digital and physical)

Sie nennt vor allem die Gleichwertigkeit der gezeigten Information auf beiden Seiten (WYSIWIS), die Möglichkeit informeller virtueller Treffen (Chance meetings), die Transparenz der Aktivitäten der jeweils anderen Partner (Peripheral awareness), non-verbale Dinge transportieren zu können und die Ausgewogenheit von digitaler und physischer Welt. Sie beschreibt aber auch die wesentlichen Elemente eines CVE. Von diesen Annahmen ausgehend, wird hier folgendes grundlegendes Schema eines CVE entwickelt:

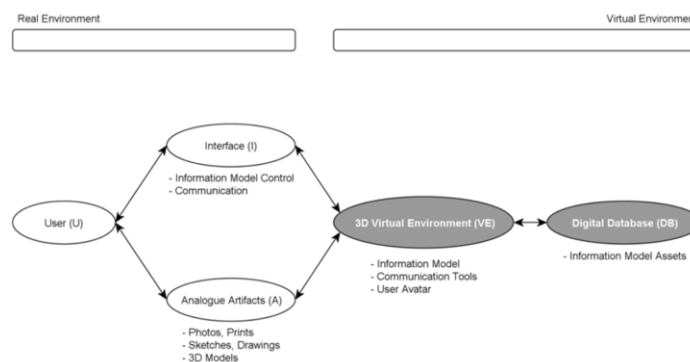


Fig. 2: Genereller Aufbau eines Collaborative Virtual Environments (CVE)

Im Zentrum des CVE steht ein digitales Informationsmodell, oft auch als dreidimensionales Virtual Environment (VE), das den eigentlichen Arbeitsraum bietet und den Gegenstand der Gestaltung abbildet. Das CVE sollte aber auch über Kommunikationswerkzeuge verfügen, oft existieren dort auch Avatare, als eine digitale Repräsentation der Nutzer. Eine digitale Datenbank (DB) lagert alle Assets zur Gestaltung des Informationsmodells. Der oder die Nutzer (U) verfügen über den Zugriff zu einem digitalen Interface (I), das die Steuerung des Informationsmodells ermöglicht, aber auch Kommunikationswerkzeuge anbietet. Parallel dazu hat der Nutzer Zugriff auf analoge Arbeitsmaterialien und Artefakte (A). Vereinfacht erhalten wir daher folgendes Schema:

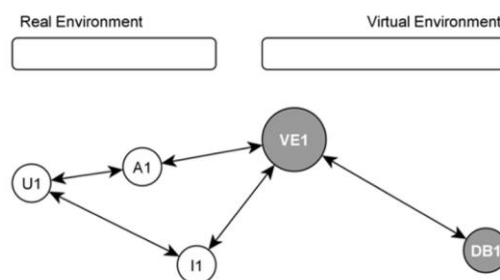


Fig. 3: Collaborative Virtual Environment (CVE) | Vereinfachte Struktur . Single-User Workspace

2.2 Raum, Zeit und Organisation

Dave [2011] beschreibt den Zusammenhang zwischen Raum, Zeit und Organisation im Gebrauch von Virtual Environments. In gestalterischen Berufen finden sich am Arbeitsplatz neben PC's auch oft analoge Artefakte, wie Skizzen, Zeichnungen, Fotos, Drucke, Pläne oder 3D-Modelle. Der Zugriff auf diese beiden Mittel und die Kommunikation über diese beiden Möglichkeiten (digitale Schnittstellen und analoge Artefakte) beschreibt er als essentiell bei der Bearbeitung gestalterischer Aufgaben. In der Gestaltung der Arbeitsplätze unterscheidet er zwischen physischem und digitalem Raum, Single-User und Group Workspaces.

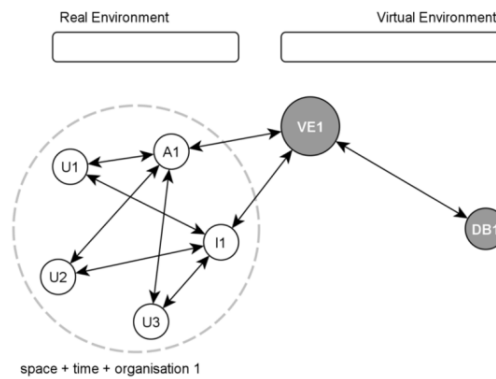


Fig. 4: Collaborative Virtual Environment (CVE) | Synchroner und lokaler Group Workspace

Demnach zeichnet sich der Gruppenarbeitsplatz mit mehreren Nutzern durch gleichzeitigen Zugriff auf dieselben Interfaces und analogen Artefakte am selben Ort aus. Alle Nutzer befinden sich in der selben Organisationsform, das heisst, sie arbeiten nach den selben Standards und nutzen den selben Workflow im Gestaltungsprozess.

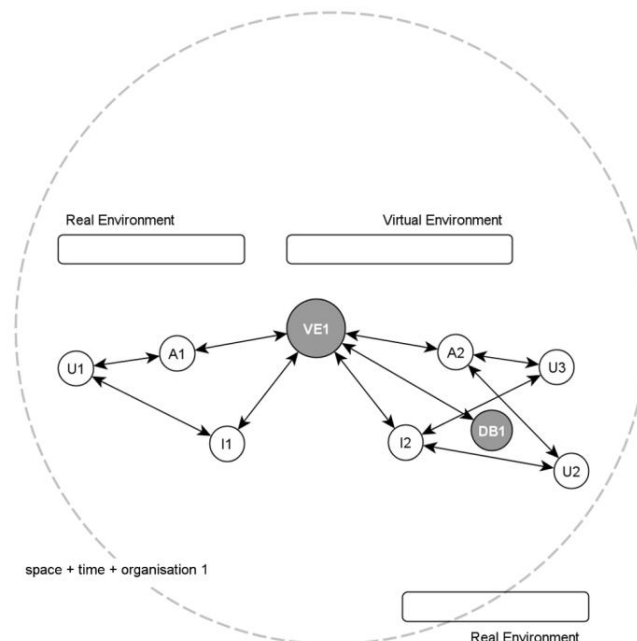


Fig. 5: Collaborative Virtual Environment (CVE) | Synchroner und lokaler Group Workspace

Möglich wäre aber auch folgende Konfiguration: hier sind es mehrere Nutzer im selben Raum, zur selben Zeit, in der gleichen Organisationsform, aber an unterschiedlichen Interfaces und analogen Artefakten.

Denkbar wären hier auch Variationen, wie zum Beispiel eine asynchrone Tätigkeit, aber auch eine non-lokale und asynchrone Kooperation in unterschiedlichen Organisationsformen wie in der nächsten Grafik dargestellt:

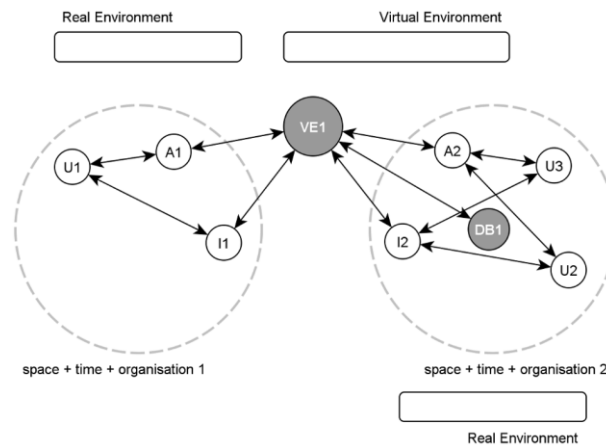


Fig. 6: Collaborative Virtual Environment (CVE) | Asynchroner und non-lokaler Group Workspace

Weitere Variationen sind denkbar, einerseits die Erweiterung um weitere Datenbanken und andererseits die Vernetzung mit anderen CVE zu komplexen Mixed Reality Environments.

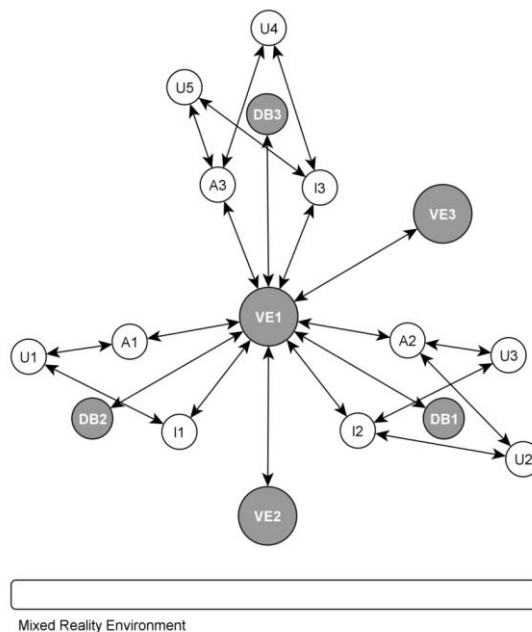


Fig. 7: Collaborative Virtual Environment (CVE) | Multi-Database und Vernetzung mit anderen CVE

Diese Analyse eröffnet uns nun Möglichkeiten, das eigene nachfolgende Projekt kritisch zu betrachten und weitere, mögliche Perspektiven zu entwickeln. Dazu mehr im abschließenden Kapitel „6 CONCLUSION“.

3 ANWENDUNGSBEREICHE UND BEWERTUNGSKRITERIEN FÜR CVE

3.1 Anwendungsbereiche

Zur Zeit kennen wir folgende Hauptanwendungsbereiche von Mixed-Reality-Echtzeitsystemen:

- Archäologie, Rekonstruktion und Städtebau
- Architektur und Baukonstruktion
- Erziehung und Bildung
- Wartung, Inspektion und Instandhaltung von Anlagen
- Chirurgie und militärische Anwendungen

Beschränken wir uns nun auf das Gebiet der Architektur, gibt es schon einige bemerkenswerte Forschungsarbeiten. Billinghurst und Henrysson nennen folgende generelle Anwendungsbereiche von Echtzeitsystemen: On-Site-Visualisierungen von Gebäuden, speziell auch in der Archäologie und die

Unterstützung des gesamten Gestaltungs- und Konstruktionsprozesses, also auch kollaborative Methoden (Vgl. BILLINGHURST 2009). Speziell in der Architektur scheinen also folgende Anwendungen heute schon umsetzbar und interessant:

- Indoor/Outdoor Visualization
- Architekturentwurf, Gestaltungs- und Konstruktionsprozess
- Energieoptimierter Entwurf
- Design Collaboration, Shared Display und Delokale Visualisierung
- Anwendungen für Weiterbildung und Lehre

Wir kennen fünf wichtige Phasen im Ablauf eines Bauvorhabens: 1. Entwurf und Genehmigungsplanung, 2. Ausführungsplanung und Bauausführung, 3. Bauüberwachung (Qualitätsmanagement), 4. Wartung und Service (Facility Management) und 5. Baudokumentation. Heute sind für alle diese genannten Phasen Echtzeitanwendungen in Entwicklung.

3.2 Bewertungskriterien für Echtzeitsysteme

Allgemein anerkannt sind heute folgende fünf Bewertungskriterien für Echtzeitsysteme in der Architekturvisualisierung und -simulation: Flexibilität, Mobilität, Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit, (Performance) und Integrationsfähigkeit. Die Hardware sollte modular, flexibel und leicht zu transportieren sein. Dadurch werden auch On-Site-Visualisierungen möglich. Flexible und modulare Bestandteile erleichtern die Kombination und Rekombination verschiedener Geräte. Echtzeitanwendungen sollten möglichst wirtschaftlich sein, in Anschaffung und Betrieb, sollten eine gute Performance aufzeigen und sollten sich gut in Standardsoftwarepakete integrieren lassen. Gute Performance, speziell das Laufzeitverhalten und die Integrationsfähigkeit sind wichtige Indikatoren für die Akzeptanz einer Echtzeitanwendung beim Nutzer (Vgl. HÖHL 2009a, S. 24 – 25).

4 RELATED WORK

Es gibt bereits eine Menge an verschiedenen Echtzeitsystemen für alle fünf oben genannte Bereiche, in unterschiedlichen Entwicklungsstufen, vom Prototypen bis hin zu sehr praktikablen Lösungen. Tizani [2011] beschreibt ein virtuelles Environment zur Bauplanung in der Konzeptionsphase. Er orientiert sich dabei am herkömmlichen Workflow des Architekturentwurfs und der Gebäudeplanung und arbeitet mit einer gemeinsamen Datenbank, entwickelt in C++ und OpenGL. Peña-Mora et.al. [2011] beschäftigen sich mit der Design Coordination und dem Monitoring des Gestaltungsprozesses in der Ausführungsplanung. Die soziale Akzeptanz und die Integration von CVE in den Planungsprozess erforscht Yabuki (2011). Yi-Luen Do (2011) beschäftigt sich mit der Integration von 2D-Echtzeitskizzen in die 3D-Grafik von virtuellen Environments. Die Echtzeitmodellierung von Gebäuden mit einfachen Würfeln ist das Forschungsthema von Chen (2011). Er integriert dabei einfache Modellierungsfunktionen in Echtzeitoberflächen. Eine umfassende, integrierte GIS/CAD/VR-Anwendung auf VRML/XML-Basis und angelagerten CAD-Standardprogrammen entwickeln Ren und Tang (2011). Künz, Donschewa und Weber (2007) zeigen wichtige Möglichkeiten zur Integration von existierenden Game-Engines in Echtzeitoberflächen zur Architektursimulation.

5 CG MIXED REALITY ARCHITECTURAL WORKSPACE

In diesem Projekt wird der Einsatz von Echtzeit-3D-Darstellung und deren Steuerung durch ein innovatives Mixed Reality-Präsentationssystem (MRI der Firma Kommerz) im Rahmen von Kundengesprächen der Firma Haslerhaus untersucht. Das Ziel der Untersuchung ist, durch den Einsatz innovativer und immersiver Technologien das Produkt Fertigteilhaus optimal darstellen und vermitteln zu können. Durch interaktive Echtzeit-Technologie soll im Gespräch unmittelbar auf Kundenwünsche reagiert werden können und das Ergebnis von Änderungen und Planungs-Varianten sofort erlebbar werden. Die dadurch vermittelte, intensivere Einbindung sollte zu einer höheren Kundenzufriedenheit und -bindung führen. In Vorgesprächen zwischen der FH JOANNEUM und der Firma Haslerhaus wurden konkrete Forschungsbereiche eruiert:

- Mögliche Visualisierungs- und Interaktionskonzepte bestimmen und testen.
- Entwicklung eines Präsentationssystems, das es erlaubt, sich in Echtzeit durch einen Entwurf eines Fertigteilhauses zu bewegen

- Veränderung von Faktoren in Echtzeit: Entwicklung eines Systems, das es erlaubt in Echtzeit Faktoren wie Sonnenstand zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten zu verändern
- Entwicklung eines Bemusterungssystems: hier kann der Kunde sein eigenes Haus am Computer mit den zuvor ausgewählten Details (Fenster, Aussenputz, Dachstein, etc.) in Echtzeit bemustern und zur Beurteilung virtuell begehen.
- Unmittelbar abrufbare, weiterführende visuelle Informationen zu Gebäudedetails, die es erlauben dem Kunden die Sinnhaftigkeit gewisser Lösungen eindrücklich zu erklären



Fig. 8: Integrierte Sonnenstandssimulation

Das Projekt wurden in folgenden Schritten umgesetzt:

Präsentation und Auswahl des MRI-Systems der Firma Kommerz – Gemeinsamer Besuch bei der Firma Kommerz, wo zwei Varianten des MRI-Präsentationssystems, eine stationäre Untertisch- und eine mobile Auftisch-Variante, demonstriert wurden. Aufgrund der Anforderung bei Kundenbesuchen mobil sein zu können fiel die Entscheidung schließlich auf die mobile Variante. Weiters wurden anhand von bereits umgesetzten Projekten der Firma Kommerz die Möglichkeiten dieses Systems bzw. der Software für Bau- und Architektur Anwendungen demonstriert.

Ermittlung einer optimalen Pipeline für 3D-Daten – Es wurden Test durchgeführt wie die bei der Fa. Haslerhaus vorhandenen 3D-Daten am besten von der von ihnen verwendeten BIM-Software Nemetschek Allplan in die für die 3D-Präsentation verwendete Realtime-3D-Middleware Unity 3D überführt werden können. Dabei ging es darum den Aufwand für notwendige Nachbearbeitungsschritte so gering wie möglich zu halten. Neben den 3D-Daten sollten auch UV- und Texturdaten optimal übertragen werden. Eine nahezu optimale Lösung ergab sich mit dem Export der Daten von Nemetschek Allplan in das 3D-Animationsprogramm Maxon Cinema 4D und von dort nach Unity 3D. Dabei spielt sicher eine Rolle, dass diese beiden Programme der gleichen Firma gehören. Der Grund dafür, soviel Energie in das Pipeline-Thema zu investieren ist, dass die Firma Haslerhaus in einer zukünftigen Ausbaustufe des Projekts ihre 3D-Daten möglichst ohne externe Fachleute in das Framework bringen und präsentieren kann.

Aufbereitung von 3D-Daten eines Musterhauses – Die Daten eines konkreten Musterhauses wurden aufbereitet und in die Realtime-3D Software überführt.

Implementierung von Interaktivität in das MRI-System – Dem Musterhaus-Modell wurden in der Realtime-3D-Umgebung einige interaktive Elemente angebunden

- die Möglichkeit Teile des Hauses und den Außenbereich in der 3D-Umgebung und in Echtzeit mit einer „First-Person-Kamera“ zu begehen
- die Belichtungssituation durch Sonne kann über den Tagesverlauf dargestellt werden und zwar für Winter und Sommer
- es wurden Beispiele für die Bemusterung implementiert, die Wand- und Bodenoberfläche kann interaktiv ausgetauscht werden
- es wurde ein "Hotspot" eingebaut der eine animierte Darstellung eines Details erlaubt

Eine entscheidende Rolle spielte die Haptik und die Interaktion. Die Steuerung dieser interaktiven Elemente wurden an entsprechend gefertigte reale und haptische Interaktionselemente des MRI gebunden. So wurde z. B. der Sonnenstand zeitlich im Tagesverlauf durch die Drehung eines Sonnenstand-Modells geregelt. Zwei verschiedene Sonnenstand-Modelle repräsentierten jeweils den Sonnenverlauf für Winter und Sommer. Oberflächen wurden bemustert, indem ein (vorbereitetes) reales Muster z. B. eines gewissen Bodenbelags auf den Tisch gelegt wurde.

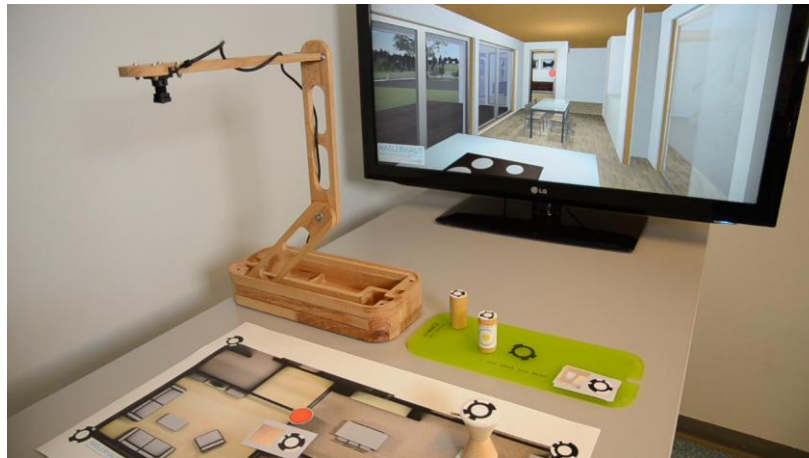


Fig. 9: Virtueller Baukasten zur Bemusterung

Leihgabe eines MRI-Systems – Das gesamte System aus Soft- und Hardware wurde der Firma Haslerhaus für intensive Tests für einen Zeitraum von 14 Tagen zur Verfügung gestellt.

Abnahme, Feedback, Austausch der Erfahrungen und Überlegungen für eine Fortführung – all die oben genannten Dinge basieren darauf, dass die 3D-Daten und ein abgestimmter Grob-Entwurf eines Hauses bereits vorhanden sind. Für gewisse Aspekte, wie die Bemusterung, können stattdessen natürlich auch generische Musterhäuser herangezogen werden. Der logische nächste Schritt wäre jetzt mit dem System zeitlich noch einen Schritt früher anzusetzen und auf das Erstgespräch mit dem Kunden abzielen. Trotz Echtzeit und Interaktivität muss bis jetzt der Erst-Entwurf noch immer konventionell abgewickelt werden. Im Erstgespräche können Ergebnisse des Prozesses nur in der relativ vagen Form von Hand-Skizzen festgehalten und präsentiert werden. Für eine genauere Beurteilung muss ein zweiter Termin angesetzt werden, damit inzwischen ein CAD-Operator die Ergebnisse visualisieren kann. Gerade bei einem Fertigteilhaus-System mit seinen systembedingten Einschränkungen der Elemente würde sich daher ein virtuelle Baukasten anbieten, mit dem man nach dem Lego-Prinzip das Haus zusammen mit dem Kunden erstellen, dann aber gleich auch in Echtzeit aus der Benutzerperspektive betrachten und beurteilen kann. Man kann unmittelbar nach dem Erstellen durchgehen, Beleuchtungssituationen verschiedener Tages- und Jahreszeiten erleben und die Wirkung von Material-Varianten beurteilen.

6 CONCLUSION

Das Gesamtsystem läuft auf einem handelsüblichen Spielecomputer in einer unteren Preisklasse, einem herkömmlichen Bildschirm (HD 1920/1080, Diagonale 46 Zoll) mit einem optischen, markerbasierten Trackingsystem der Firma KOMMERZ. Das KOMMERZ Mixed Reality Interface (MRI) ist ein Tangible User Interface, das in unterschiedlichen Designs am Markt verfügbar ist. Vom DIY-Kit bis zum hier verwendeten MRI-TableTop. Es basiert auf einer Bilderkennung runder Marker, die unter gestalterischen Gesichtspunkten entwickelt wurden. Das Besondere ist die automatische Plankalibrierung im richtigen Maßstab mit Hilfe einer speziellen Steuerfigur, die auch dem Benutzer die Orientierung erleichtert. Verwendet wird eine USB-Kamera der Firma IDS mit einem 3 mm Weitwinkel-Objektiv. Das 3D-File wird aus Nemetschek Allplan in Cinema 4D importiert, dort vorbereitet und texturiert. Dann kann die Datei in Unity importiert werden. Die Steuerfiguren im MRI liefern Position und Drehung via einer Plug-In-Echtzeit-3D-Software. Das Unity-File kann von einem Mediendesigner erstellt werden, ohne spezielle Programmierkenntnisse. Ermöglicht wird das über das KOMMERZ Unity Framework, eine Scriptsammlung, die unterschiedlichste Funktionen in Unity bereitstellt, um interaktive 3D-Applikationen zu erstellen. Das Betriebssystem ist Windows OS.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, entspricht das existierende Setup unseres CG Mixed-Reality Architectural Workspace momentan dem Typ eines „Synchronen und lokalen Group Workspace“.

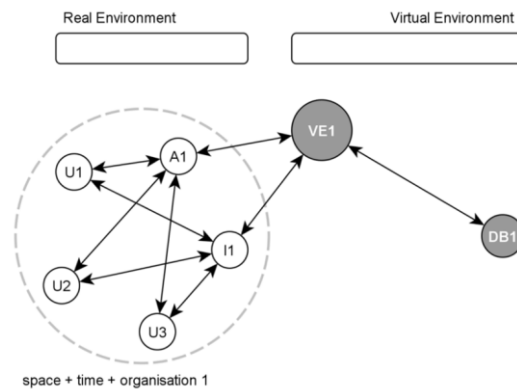


Fig. 10: Synchroner und lokaler Group Workspace

Das VE1 entspricht dem 3D-Walkthrough mit integrierter Sonnenstandsanalyse, die DB1 entspricht dem virtuellen Baukasten zur Bemusterung, A1 und I1 bilden das Mixed-Reality-Interface für mehrere, lokale Nutzer, gleichzeitig und in der selben Organisationsform. Aus dieser Typologie lassen sich weitere Entwicklungsmöglichkeiten ableiten. Problemlos lassen sich bereits heute weitere Interfaces für weitere Nutzer und Funktionen in unser System integrieren, wie Tangible User Interfaces, Multitouch-Tables oder ein iPad für die Sonnenstandssimulation. Zu testen wäre, in wie weit zukünftig auch Umgebungsfaktoren wie Schall, Wind und Verkehr in die Simulation eingebunden werden könnten. Die existierenden Anwendungsbereiche könnten damit geeignet erweitert werden und der computergestützte Gebäudeentwurf könnte dahingehend optimiert werden. Als Anwendungsbereiche bieten sich auch folgende Szenarien an:

- Architektur-Wettbewerbe: Austausch von Beiträgen in Echtzeit, vergleichende Beurteilung, Echtzeit-Begehung, Jury-Arbeit
- Beurteilung der Gestaltung im öffentlich Bereich – Bürgerbeteiligung
- Visuelle Leitsysteme: „schnelles Austesten“ verschiedener Varianten in der Gebäude- und Verkehrsplanung
- Präsentation von Planungen mit der Möglichkeit interaktiv zu reagieren – (politische) Gremien
- Urban Code und “Big Data”: Vernetzung ortsbezogener Datensätze der Stadt für Planungen – Gemeinbedarfsanlagen (z. B.: Kioske, Apotheken, Bibliotheken, Energieverbrauch, Wetter, Schadstoffemission, Verkehr, Mobilität, etc.), Nutzung von Datenbankinformation auch für Laien

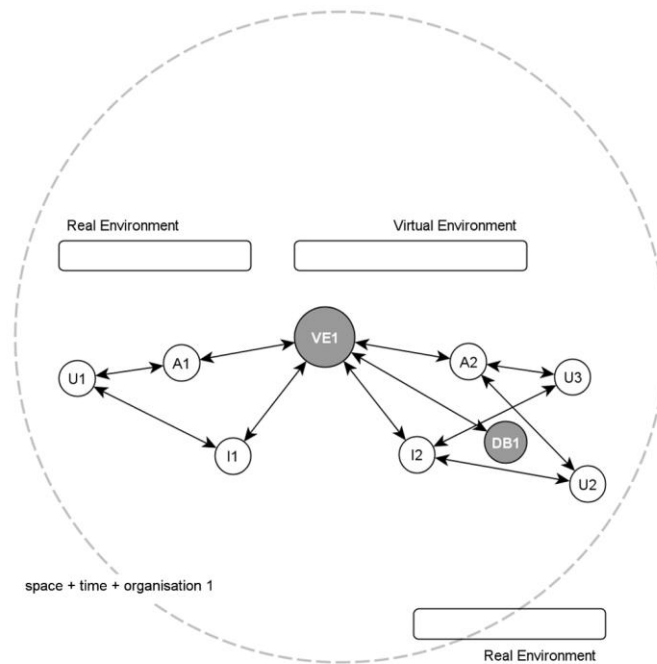


Fig. 11: Integration von weiteren Nutzern und Interfaces (z.B: Tangible User Interfaces, Multitouch-Tables oder iPads)

Eine Chance zum besseren Modellieren im Entwurf und zur Integration in den Echtzeit-Planungsprozess sehen wir in verschiedenen Detail- und Interaktionsebenen. Mittels globaler und lokaler physischer Selektions- und Interaktionselemente können interaktiv einzelne Informationselemente selektiert und manipuliert werden. Zugehörige Detailinfo erscheint in verschiedenen Ansichtsmodi der 3D-Ansicht. Denkbar wäre aber auch eine Erweiterung um weitere Datenbanken für einen „Virtuellen Baukasten“ oder eine Anbindung an ein geeignetes Building Information Modeling (BIM). Mit einem weiteren Ausbau der Kommunikationstools entwickelt sich auch die Möglichkeit zu einer weiteren Vernetzung mit non-lokalen Nutzern, Datenbanken und anderen Virtuellen Environments zu einem neuen, asynchronen und multilokalen kollaborativen Environment.

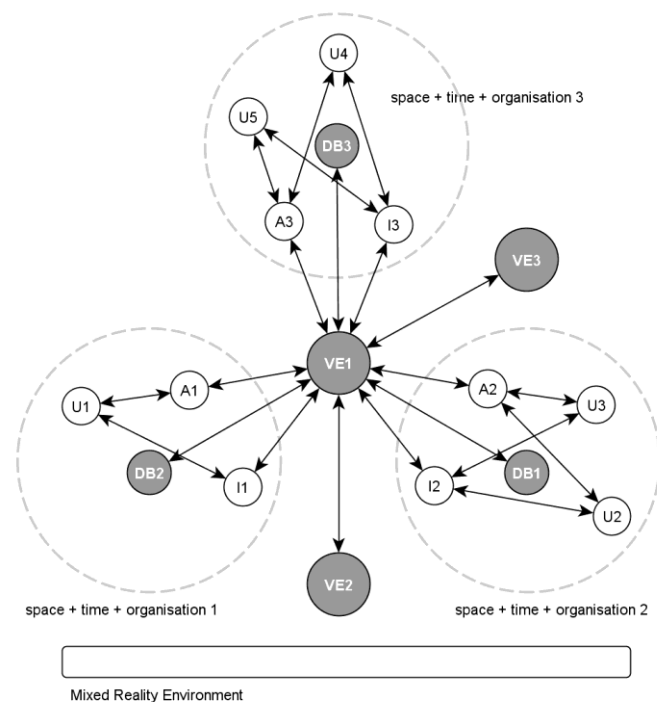


Fig. 12: Asynchrones und multilokales Collaborative Virtual Environment (CVE)

7 REFERENCES

- BILLINGHURST, M. and HENRYSSON, Anders: (2009): Mobile Architectural Augmented Reality, in: WANG, X. and SCHNABEL, M.A. (2009): *Mixed Reality in Architecture, Design and Construction*, Springer Science + Business Media, University of Sydney, p. 93 – 104
- CHEN, Jian (2011): A Hybrid Direct Visual Editing Method for Architectural Massing Study in Virtual Environments, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 131 – 140.
- DAVE, Bharat (2011): Spaces of Design Collaboration, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 143 – 151.
- HÖHL, Wolfgang (2012): Netzwerktheorie und Prozeßoptimierung, in: *Business + Innovation 02/2012*, Steinbeis Executive Magazine, Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, S. 24 – 32
- HÖHL, Wolfgang und ZEILE, Peter (2009): Die ‚Innere Logik‘ der Form – Neues vom Design Modelling Symposium 2009, in: *db – deutsche bauzeitung 12/2009*, Leinfelden-Echterdingen, S. 76 – 78
- HÖHL, Wolfgang (2009): Generative Solar Design – Lichträume, Schattenkörper und Sonnenstandssimulation, in: *Computer Spezial 2/2009*, Bauverlag BV GmbH., Gütersloh 2009, S. 13 – 19 und in: *FORUM PLANEN 11 / Juni 09*, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien, S. 9 – 11
- HÖHL, Wolfgang (2009a): Interaktive Ambiente mit Open-Source-Software, 3D-Walk-Throughs und Augmented Reality für Architekten mit Blender 2.43, DART 3.0 und ARToolKit 2.72, SpringerWienNewYork
- KÜNZ, Andreas, DONTSCHEWA, Miglena und WEBER, H. (2007): Low-Cost-Interaktivität für 3D-Computeranimation mit Computerspiel-Engines. In G. Kempter & M. Dontschewa (Hrsg.). *Informieren mit Computeranimation*, 134-138. Lengerich: Pabst
- MAHER, Mary Lou (2011): Designers and Collaborative Virtual Environments, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 3 – 15.
- PEÑA-MORA, Feniosky, GOLPARVAR-FARD, Mani, AZIZ, Zeeshan, ROH, Seungjun (2011): Design Coordination and Progress Monitoring during the Construction Phase, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 89 – 99.
- PONTO, Kevin, DOERR, Kai, WYPYCH, Tom, KOOKER, John, KUESTER, Falko (2011): CGLXTouch: A multi-user multi-touch approach for ultra-high-resolution collaborative workspaces, Graphics, Visualization and Virtual Reality Lab (GRAVITY), University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0436, USA
- REN, Aizhu and TANG, Fangqin (2011): Modeling of Buildings for Collaborative Design in a Virtual Environment, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 153 – 165.
- TIZANI, Walid (2011): Collaborative Design in Virtual Environments at Conceptual Stage, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 67 – 76.
- YABUKI, Nobuyoshi (2011): Impact of Collaborative Virtual Environments on Design Process, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 103 – 110.
- YI-LUEN DO, Ellen (2011): Sketch that Scene for me and meet me in Cyberspace, in: WANG, X. and TSAI, J.J.-H.(2011): *Collaborative Design in Virtual Environments*, Springer Science + Business Media B.V., S. 121 – 130.