

Abschlussbericht

für das Projekt

Virtual Environment for Teamwork and ad-hoc Collaboration between Companies and heterogeneous User Groups **VENTUS**

gefördert vom IFAF Berlin

koordiniert vom

Kompetenzzentrum Angewandte Informatik

Projektlaufzeit: 01.04.2017 bis 31.03.2019

(Version für Web-Veröffentlichung)

Projektleitung:

Prof. Dr.-Ing. Johann Habakuk Israel (PL)

Prof. Dr. Thomas Jung

Fachbereich 4 / Angewandte Informatik
Wilhelminenhofstr. 75a
12459 Berlin

Prof. Dr. Margitta Pries

Prof. Dr. Ute Wagner

Fachbereich II - Mathematik, Physik, Chemie
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences



BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN
University of Applied Sciences

Kooperative Projektpartner:

arTec GmbH	Länderallee 6, 14052 Berlin
Datenflug GmbH	Friedrichstraße 122/123, 10117 Berlin
InMediasP GmbH	Neuendorfstraße 18a, 16761 Hennigsdorf
inpro Innovationsgesellschaft mbH	Steinplatz 2, 10632 Berlin
MVI SOLVE-IT GmbH	Groß-Berliner-Damm 73E, 12487 Berlin
virtualcitySYSTEMS GmbH	Tauentzienstr. 7 b/c, 10789 Berlin

Assoziierte Partner:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt	Rungestr. 29, 10179 Berlin
Fraunhofer IPK	Pascalstr. 8-9, 10587 Berlin

1. Angangslage und Zielsetzung

Die sich seit Jahren vollziehende Digitalisierungswelle in der Industrie hat neben den zahlreichen Vorzügen auch neue, digitale Klüfte bewirkt. Diese werden besonders dort sichtbar, wo Daten heterogener Herkunft ausgetauscht und integriert werden. Diese Problematik stellt sich insbesondere bei der Kooperation von kleinen und mittelständischen Unternehmen mit OEM-Anbietern. So müssen beispielsweise Zulieferer, die in die Entwicklung komplexer Produkte und Dienstleistungen eingebunden werden, regelmäßig Teilergebnisse und Zwischenstände an ihre Auftraggeber übermitteln. Häufig fehlen hierfür digitale Infrastrukturen, die eine zeitlich und methodisch effiziente Kollaboration ermöglichen. Gründe hierfür sind zum Beispiel fehlende Softwarelizenzen auf Seiten der Zulieferer (Einzelplatzlizenzen für gängige CAD-Programme können Kosten in den fünfstelligen Bereich verursachen) und technische Inkompatibilitäten. Außerdem wächst der Wunsch auch in großen Unternehmen, hohen Lizenzkosten zu vermeiden, indem Technologien eingesetzt werden, die derzeit am Markt für Endverbraucher und hier insbesondere der Spieleindustrie entwickelt werden.

An diesen Punkten setzt das VENTUS-Projekt an. Mithilfe des VENTUS-Systems sollte eine Infrastruktur geschaffen werden, die es heterogenen Nutzergruppen, zum Beispiel OEM-Herstellern, Zulieferern oder auch Kunden ermöglicht, mit geringem Aufwand kostengünstig dreidimensionale Produktmodelle auszutauschen, gemeinsam zu betrachten und daran zu arbeiten. Das System sollte auf Basis eines in der Spieleindustrie gängigen Frameworks entwickelt werden, das für die Anwendenden keinen oder nur sehr geringe Kosten verursacht. Mithilfe des Systems sollten kleine und mittelständische Unternehmen in die Lage versetzt werden, ihre Produkte und Dienstleistungen einfacher anzubieten und in komplexe Produktentwicklungsprozesse zu integrieren.

Im Rahmen dieses Projekts wurden verschiedene Anwendungsfälle aus zwei thematischen Schwerpunkten untersucht: kollaborative Produktentwicklung im Automobil- und Maschinenbau sowie Nutzung virtueller Stadtmodelle für die Baustellenplanung. Diese wurden in Zusammenarbeit mit den beteiligten regionalen Partnern entwickelt und evaluiert.

2. Durchführung

Im Projektverlauf wurden die Arbeiten im Wesentlichen entsprechend des Arbeitsplans durchgeführt.

AP 1 Anforderungsanalyse, Konkretisierung der Anwendungs- und Testfälle, Bereitstellung von Daten

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurde eine Fokusgruppen-Diskussion [1] mit Vertretern aller Projektpartner durchgeführt. Die Ergebnisse wurden dokumentiert, geclustert und gewichtet. Auf Grundlage der Dokumentation wurden die Anforderungen erneut mit den Projektpartnern abgestimmt und verabschiedet. Anwendungsfälle wurden im Bereich Automobilbau (Fahrzeugmodelle) und Baustellenplanung (Stadtmodelle) verortet. Hierfür wurden Beispieldaten von den Projektpartnern bereitgestellt. Die Anforderungen wurden auf der Grundlage der Ergebnisse der Evaluation (AP5) überarbeitet, neue Funktionalitäten wurden aufgenommen und im Zuge des iterativen Entwicklungsprozesses umgesetzt.

AP 2 Entwurf des Gesamtsystems

Die Basis des Gesamtsystems, das in enger Kooperation zwischen den Hochschulen iterativ entworfen wurde, bildet das in der Spieleindustrie gängige Framework Unity3D [6]. VENTUS nutzt die von Unity3D gebotene realitätsnahe graphische Darstellung für 3D-Szenen, Funktionalitäten für die Transformation von 3D-Objekten in Echtzeit sowie die Umsetzung

eines Client-Server-Modells für die Netzwerkkommunikation im sogenannten Multiplayer-Modus auf unterschiedlichen Plattformen. Ergänzend dazu wurden eine in VR bedienbare, graphische Benutzeroberfläche und verschiedene immersive Interaktionswerkzeuge entwickelt (AP 3).

Für die Verarbeitung von komplexen CAD-Datenmodellen beinhaltet das VENTUS-System einen Geometrie-Modellierungskern mit entsprechenden Datenstrukturen und mathematischen Algorithmen. Durch die Einbindung der OpenCascade-Softwarebibliothek [3] wird der Import von vorhandenen Modelldaten im STEP-Format ermöglicht. Des Weiteren wird mittels des Modellierkerns eine vom Betrachtungsstandpunkt abhängige Netzdetailierung realisiert (Level Of Detail, LOD, AP 4).

AP 3 Umsetzung verteiltes Visualisierungssystem und Interaktionstechniken

Die finale Version des VENTUS-Systems ermöglicht das gemeinsame Betrachten von 3D-Modellen an unterschiedlichen Standorten. Hierbei werden die Teilnehmer durch vereinfachte Avatare visualisiert, so dass ihre Positionen und Ausrichtungen allen sichtbar sind. Ebenso wurde das Zeichnen von Freihandskizzen im dreidimensionalen Raum umgesetzt. Die implementierten 3D-Interaktionstechniken beinhalten ein Skizzier- und ein Annotationstool, Techniken zur Systemsteuerung, Funktionen zur die Bewegung und Manipulation von 3D-Modellen und Navigations-Interaktionstechniken. Die entwickelte 3D-Benutzerschnittstelle enthält 3D-Widgets zur Manipulation virtueller Objekte und 3D-Menüs (vgl. Abb. 1). Zur Realisierung wurde auf Methoden des VRTK-Frameworks zurückgegriffen.



Abb. 1: 3D-Menü zur Manipulation von 3D-Objekten (Quelle:[2])

Die Synchronisationsfunktionalitäten zum Austausch von 3D-Modellen (z. B. 3D-Produktmodelle oder Stadtmodelle) wurden implementiert. Die übertragenen Daten werden verschlüsselt. Die Ladezeiten eines großen 3D-Testmodells konnten von zehn Minuten auf eine Minute reduziert werden.

Das Speichern einer Szene erfolgt mittels einer Datei im XML-Format. Durch erneutes Laden dieser XML-Datei kann eine unterbrochene VR-Session zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden. Zudem können die geometrischen Informationen sowie die Annotationen aus der XML-Datei extrahiert und in einem CAD-Datenformat gesichert werden. Auf diesem Weg ist es möglich, die während eines Meetings entstandenen Design-Ideen automatisiert

zur weiteren Bearbeitung in ein CAD-System zu übertragen. Dies wurde exemplarisch für das CAD-System Rhinoceros3D umgesetzt [4].

Für den Anwendungsfall Baustellenplanung wurde eine Objektbibliothek implementiert, die 3D-Modelle von mehrfach benötigten Objekten (z. B. Straßenschilder) enthält. Wenn Objekte aus dieser Bibliothek entnommen werden, wird automatisch eine Kopie erzeugt. Benutzern wird es so die Erstellung einer großen Anzahl an Objekten erleichtert.

Das VENTUS-System ist auf folgenden Plattformen lauffähig: Windows-Desktop, VR-Powerwall, VR-CAVE, VR-HMD HTC Vive.

AP 4 Umsetzung Modellierungskern

Wesentlicher Bestandteil des VENTUS-Systems ist ein Geometrie-Modellierungskern mit einer eigens entwickelten internen Datenstruktur, die sich am hierarchischen Aufbau von CAD-Modellen zur Beschreibung von Baugruppen orientiert und eine vollständige geometrische und topologische Repräsentation eines CAD-Objekts bietet [5]. Durch Einbindung der Softwarebibliothek OpenCascade stellt der Modellierungskern die Schnittstelle bereit, um für komplexe im STEP-Format vorliegende CAD-Modelle sowohl die für die Verarbeitung mit Unity3D erforderlichen Polygonnetze als auch Baugruppenstruktur-Informationen an den Interaktionsmodul zu übertragen (vgl. Abb. 2).

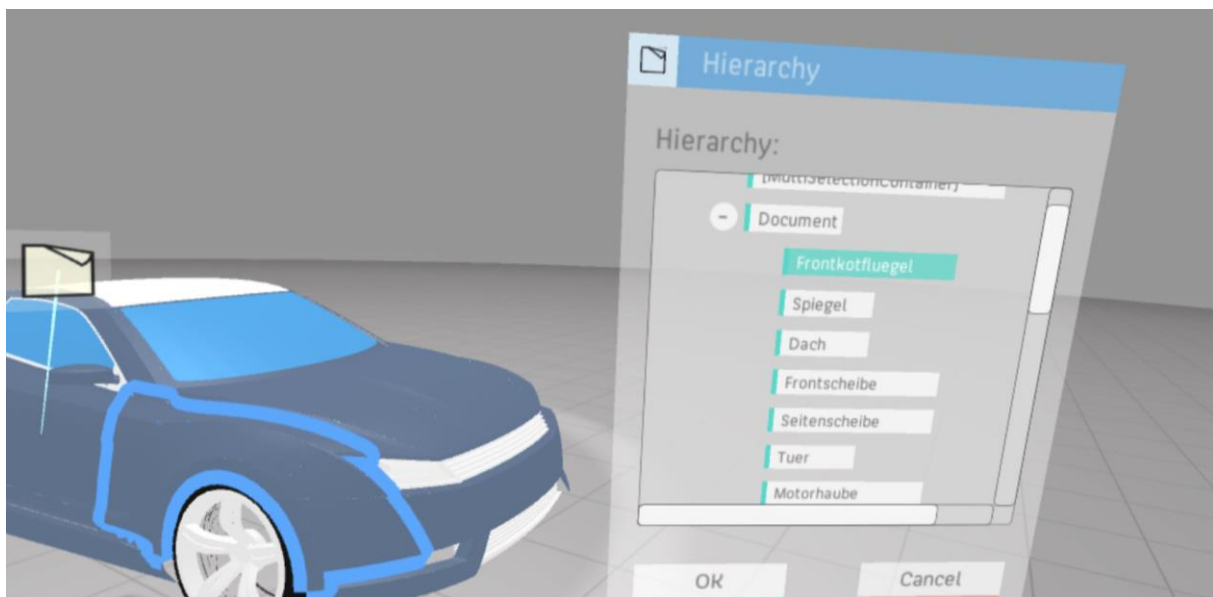


Abb. 2: In der Hierarchieansicht wird die Bauteilstruktur des eingelesenen CAD-Modells angezeigt. (Quelle:[4])

Während einer VENTUS-Sitzung werden die eingelesenen Geometrie-Daten im Modellierungskern gehalten. Damit vom Interaktionsmodul aus bei Bedarf direkt auf die geometrische Beschreibung eines visualisierten Objekts zugegriffen werden kann, wurden zwei identische Datenstrukturen einerseits im Modellierungskern (in der Programmiersprache C++), andererseits im Interaktionsmodul (C#) realisiert. Der Datenaustausch zwischen diesen beiden Parallelstrukturen erfolgt mittels Plattformaufforderungen (P/Invoke). Über die jeder Unterkomponente zugeordnete Kennung ist eine Rückkopplung zwischen jeweils einander zugeordneten C++- und C#-Objekten gegeben. Diese spezielle Struktur wird insbesondere ausgenutzt, um für eine realitätsnahe Darstellung während der Laufzeit verschiedene Verfeinerungstufen der Polygonnetzgeneration (Level of Detail – LOD) einstellen zu können. Das Nachladen eines feineren Netzes bei Annäherung an das Objekt bzw. eines gröbereren bei Entfernung davon geschieht dabei jeweils in einem eigenen Prozess, um die weiteren

parallel ablaufenden Benutzerinteraktionen nicht zu behindern. In einer im Rahmen dieses Projekts entstandenen Masterarbeit [7] wird der Geometrie-Modellierkern genutzt, um verschiedene Versionen eines in VENTUS eingeladenen Modells miteinander zu vergleichen und die Differenzen graphisch darzustellen.

AP 5 Evaluation und Test

Das VENTUS-System wurde im Rahmen eines Statustreffens evaluiert. 8 Personen nahmen zu je 2 Personen in 4 kollaborativen Sitzungen an der Evaluation teil. Es wurde jeweils eine Aufgabe bearbeitet, in der die beiden miteinander kollaborierenden Nutzer eine virtuelle Baustelle mithilfe von Gittern absperren sollten. Im Anschluss an jede Session wurde ein kurzes Interview mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmer geführt, zwei Fragebögen sollten darüber hinaus beantwortet werden, die zur Ermittlung der User Experience (AttrakDiff-Fragebogen) und der Beanspruchung (NASA-TLX-Fragebogen) dienten. Die Auswertung des Attrak-Diff-Fragebogens ergab, dass das System sowohl in seinen pragmatischen als auch seinen hedonischen Fähigkeiten als neutral betrachtet wird. Es besteht in beiden Dimensionen Verbesserungsbedarf, um ein begehrtes System zu erhalten (Abb. 2).

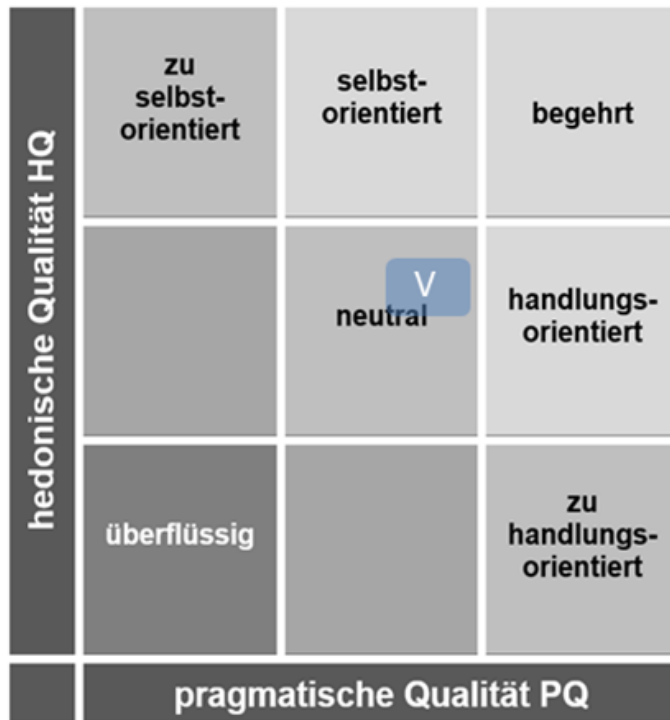


Abb. 3: Grafische Auswertung des AttrakDiff-Fragebogens

Die Auswertung des NASA-TLX-Fragebogens ergab moderate Beanspruchungen in fast allen Dimensionen (vgl. Abb. 3). Die Teilnehmer zeigten sich mit der Aufgabenlösung jedoch nur wenig zufrieden (Ausführung der Aufgaben).

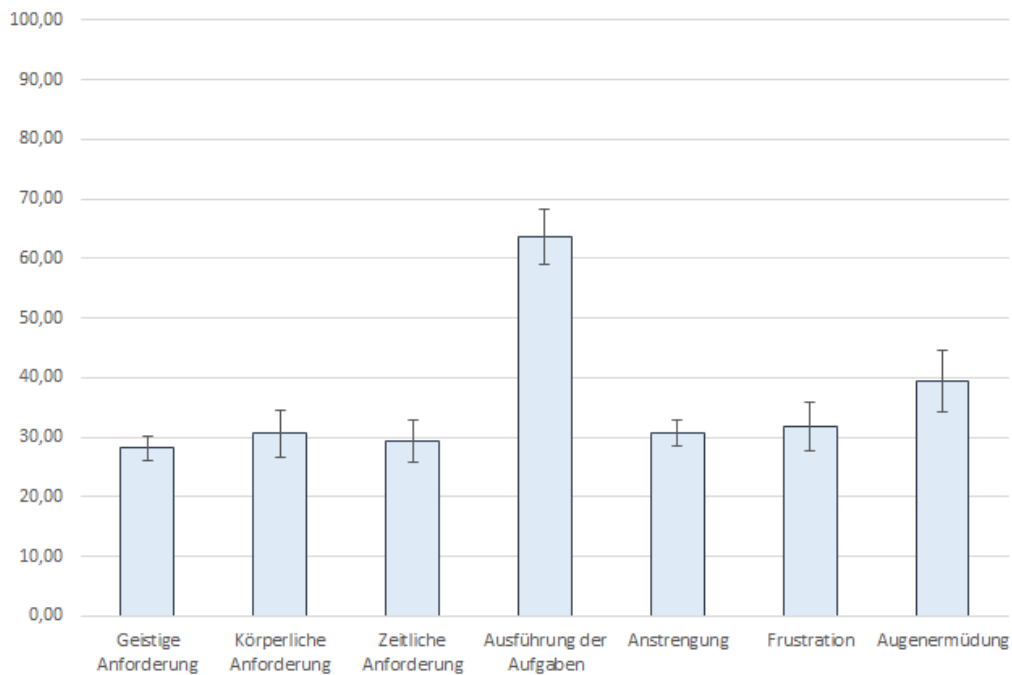


Abb. 4: Ergebnisse des NASA-TLX-Fragebogens

Im Rahmen der Interviews wurden am häufigsten folgende Probleme benannt:

- Schwierigkeiten bei der Verwendung des Menüs (zu viele Klicks, Menü nicht sichtbar),
- kein Überblick darüber, was die Partnerin/der Partner gerade macht,
- nach Navigations-Sprung Verlust der Orientierung, wo sich die Partnerin bzw. der Partner befindet,
- fehlende Objekt-Bibliothek.

Für alle genannten Probleme wurden im letzten Entwicklungszyklus Funktionalitäten zu deren Lösung implementiert (s. o.)

3. Kooperation

Die Zusammenarbeit der beiden Hochschulen verlief sehr gut. Die Kommunikation zwischen den Projektmitarbeitern durch E-Mails, Telefonate oder direkten Kontakt war offen und vertraut. Die regelmäßigen Treffen der Projektteams verliefen stets konstruktiv und gaben wesentliche Impulse für das weitere Vorankommen. Neben mehreren internen Projekttreffen, in denen sich vorrangig die wissenschaftlichen Mitarbeiter zusammensetzten, sowie Projekttreffen, an denen alle Projektbeteiligten der beiden Hochschulen anwesend waren, wurden insbesondere fünf Statustreffen mit den externen Projektpartnern veranstaltet.



Abb. 5: Teilnehmer des VENTUS-Abschlusstreffen am 25. Mai 2018 bei der Datenflug GmbH (© VENTUS)

Die Aufgabenverteilung zwischen den Partnern erfolgte gemäß Arbeitsplan. Die Einbindung des Modellkerns in das VENTUS-System samt Import von CAD-Modellen als auch weiterer geometrischer Funktionalitäten erfolgte an der Beuth-Hochschule. Die Verteilung der 3D-Daten und die 3D-Interaktionstechniken wurden an der HTW entwickelt.

Alle Projektpartner haben sich intensiv an der Anforderungsanalyse und Lösungskonzeption beteiligt. Darüber hinaus gab es folgende Aktivitäten: Die arTec GmbH, inpro Innovationsgesellschaft mbH und MVI SOLVE-IT GmbH entwickelten Anforderungen und Lösungskonzepte im Bereich Automobilbau. Die Datenflug GmbH steuert Kenntnisse zur Entwicklung Standard-3D-Interaktionstechniken bei. Die InMediasP GmbH steuerte Lösungsvorschläge für Interaktionstechniken bei und beteiligte sich an der Entwicklung von Use-Cases im Automobilbau. Die virtualcitySYSTEMS GmbH und die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt entwickelten den Use Case Stadtentwicklung. Das Fraunhofer IPK steuerte Erfahrungen in der Entwicklung von verteilten 3D-Anwendungen bei.

Durch den Einsatz von Methoden des User-Centered Design konnte eine Kommunikationsform im Projekt etabliert werden, die disziplinübergreifend zur konstruktiven Lösungsentwicklung beitrug.

4. Ergebnisse

Alle Meilensteine konnten erreicht werden. Im ersten Meilenstein wurde sowohl ein Dokument erstellt, in dem die Anforderungen ausführlich beschrieben werden, als auch eine Webseite (www.ventus3d.com), auf der das Projekt vorgestellt wird.

Beim Erreichen des zweiten Meilensteins wurde die Erstellung des VENTUS-Basissystems

abgeschlossen. Dieses enthielt bereits aufwändige Visualisierungen der an den 3D-Objekten möglichen Interaktionen, wie zum Beispiel Verschieben, Rotieren, Annotationen Erzeugen, Skalieren.

Mit dem Meilenstein drei konnten die wesentlichen Synchronisierungsfunktionalitäten realisiert werden. Anfängliche Performanceprobleme konnten behoben werden. Die Synchronisierungsfunktionalitäten wurden insbesondere beim mehrstündigen Einsatz des Systems auf der Langen Nacht der Wissenschaften 2018 genutzt, bei denen sie sich sehr gut bewährten. Das System wurde auf die Zielplattformen Desktop, Head-mounted Display, Powerwall und CAVE portiert. Auf die Portierung auf mobile Endgeräte musste aus Zeitmangel verzichtet werden.

Mit dem Meilenstein vier, der gleichzeitig das Ende des Projekts markierte, wurde das finale VENTUS-System fertig gestellt. Es beinhaltet die oben beschriebenen zusätzlichen Funktionalitäten, die sich aufgrund der Evaluation ergeben hatten. Das Endergebnis wurde auf dem abschließenden Statustreffen am 25.3.2019 präsentiert und wird am 15.6.2019 im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften 2019 einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt.

Während des Berichtszeitraums wurden Transfermöglichkeiten und -aktivitäten unter den Projektpartnern diskutiert. Mehrere Partner bekundeten Interesse, das Thema Kollaboration im VR in Folgeforschungsprojekten weiter gemeinsam zu bearbeiten. Entsprechende Folgeaktivitäten wurden bereits aufgenommen. Durch das Projekt konnte ein Know-How-Transfer zwischen den Partnern initiiert werden, der sich in Form von Anforderungsspezifikationen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen konkretisierte. Aus dem Projekt heraus sind drei Publikationen entstanden (siehe Literaturverzeichnis [2,4,5]).

Aufgrund der Nähe zu Inhalten verschiedener Lehrveranstaltungen an der Beuth Hochschule und der HTW ermöglichten die Forschungsergebnisse eine Verbesserung der praxisnahen Ausbildung. Dies wurde durch die Einbindung von Studenten in die Projektarbeit, durch die Anstellung von studentischen Hilfskräften sowie die Betreuung von Forschungsarbeiten und einer Masterarbeit im Rahmen des Projektes erreicht. Im Kontext des Projekts entstanden folgende wissenschaftliche Arbeiten:

- Patrick Fehling (HTW Berlin, Studiengang Angewandte Informatik, Master), Forschungsprojekt „Benutzerzentrierter Entwurf von kollaborativen Interaktionstechniken für das immersive 3D-Skizzieren“
- Florian Hermuth (HTW Berlin, Studiengang Angewandte Informatik, Master), Forschungsprojekt „Erfassung, Übertragung und Repräsentation menschlicher Avatare in Telepräsenzscenarien“
- Markus v.d.Heyde (Beuth-HS, Studiengang Mathematik – Computational Engineering, Master), Masterarbeit „Ermittlung der Unterschiede verschiedener Revisionsstände von CAD-Daten und ihre Darstellung im virtuellen Raum“
- Jonathan Nowca (HTW Berlin, Studiengang Angewandte Informatik, Master), Forschungsprojekt „Entwicklung von Tangible User Interfaces für die Kollaboration in virtuellen Umgebungen“

An der Beuth Hochschule wurde auch die Weiterentwicklung des hochschulinternen Geometrie-Toolkits und dessen Verwendung in der Lehre betrieben. Somit konnte ein Wissenstransfer über die Projektgrenzen hinaus gewährleistet werden.

Zudem war eine Erhöhung der Attraktivität der oben genannten Studiengänge durch das VENTUS-Forschungsprojekt für die Beuth Hochschule und die HTW auch in wirtschaftlicher

Hinsicht von Bedeutung.

Nicht zuletzt konnten die Hochschulen aufgrund des erfolgreich verlaufenen Projektes und dem damit verbundenen Erfahrungsgewinn ihre Attraktivität für zukünftige industrienahe Forschungsprojekte erhöhen. So können weitere Anträge z. B. im Rahmen der Förderlinie KMU Innovativ gestellt werden. Durch die Komplexität und die starke Fokussierung auf Gebiete der praxisnahen Forschung könnten Folgeprojekte hervorragend für kooperative Promotionen und weitere Abschlussarbeiten geeignet sein, was die Hochschulen insgesamt als Forschungsstandorte stärkte.

5. Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit

Präsentationen des VENTUS-Systems erfolgten bei folgenden Ereignissen:

- 5.10.2017 im Rahmen des Parlamentarischen Lunchs des IFAF vor Parlamentariern des Berliner Abgeordnetenhauses
- 29.1.2018 im Rahmen des Symposium „Mensch-Computer-Interaktion: Die Arbeitswelten der Zukunft gestalten!“ der Gesellschaft für Informatik
- 1.6.2018 auf dem Symposium „Geometrische Modellierung - Bildverarbeitung - Simulation“ an der Beuth-Hochschule
- im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften 2018 an den Standorten HTW und Beuth Hochschule
- Symposium „Collaborative Spaces“ des Exzellenzclusters Bild Wissen Gestaltung, Berlin, 12. Oktober 2018
- Symposium „Kreativität + X = Innovation“ der HTW Berlin am 8. November 2018
- 7. Dezember 2018 zum Workshop 3D-NordOst, GfAI, Berlin
- Posterbeitrag auf der Konferenz Entwerfen Entwickeln Erleben, Dresden, 27.-28. Juni 2019
- im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften 2019 an den Standorten HTW und Beuth Hochschule

Zur Steigerung der Projektsichtbarkeit wurde eine Webseite eingerichtet, die mittels eines Content-Management-Systems gepflegt werden kann (<http://www.ventus3d.com/>). Diese hat derzeit ca. 500 Zugriffe je Monat. Für das VENTUS-Projekt wurde ein Imagefilm erstellt, der derzeit in einer Vorabversion vorliegt und bei Freigabe auf der VENTUS-Homepage verfügbar gemacht wird. Ein Medienecho konnte leider noch nicht verzeichnet werden.

6. Ausblick

Aus dem Projektverlauf haben sich folgende Forschungsfragen ergeben, die in Folgeprojekten oder anderen Formaten bearbeitet werden können:

- Wie können Audio- und Videoübertragungen nutzbringend in kollaborative 3D-Szenarien integriert werden?
- Können Augmented-Reality-Techniken sinnvoll in das System integriert werden?
- Wie lassen sich die Level of Detail (LOD) für umfangreiche 3D-Produktmodelle und bei mehreren Benutzern effizient zur Laufzeit ermitteln?
- Wie lassen sich etablierte Interaktionswerkzeuge von CAD-Systemen sinnvoll in die VR-Welt übertragen und VR-spezifisch erweitern?

- Wie sollten diese Tools in VR bestmöglich ergonomisch gestalten?

Der Gedanke der Kollaboration anhand von 3D-Modellen kann zukünftig auch in anderen Bereichen, z. B. der Medizintechnik, der Entwicklungszusammenarbeit, des Trainings etc. zum Tragen kommen. Hierzu werden sowohl forschungsorientierte Verbundprojekte als auch entwicklungsorientierte Industrieprojekte angestrebt. Eine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse im engeren Sinn (z. B. Lizenzierung von Softwaremodulen) ist seitens der Hochschulen derzeit nicht vorgesehen. Insgesamt sind die Projektpartner aber an einer Verstärkung der Projektidee und –initiative interessiert (s. Abschnitt 4).

7. Kurzzusammenfassung des Projekts und seiner Ergebnisse

Im VENTUS-Projekt wurde ein flexibles System zum Austausch von 3D-Daten auf der Basis kostengünstiger 3D-Game-Engines entwickelt, wobei besonderer Wert auf Interaktivität und Kollaboration gelegt wurde. Es adressiert damit Anforderungen aus der Industrie, in der Visualisierungs-Werkzeuge zwar weit verbreitet sind, deren Verfügbarkeit jedoch häufig an Unternehmensgrenzen endet. Die an Produktentwicklungs-Prozessen beteiligten Akteure, hier insbesondere Erstausrüster (Original Equipment Manufacturer, OEM), Zulieferer und Kunden, benötigen integrierten Systemwelten, die spontane und aufwandsarme Kommunikation anhand von Produktmodellen ermöglichen. Hier bietet das VENTUS-System Lösungsmöglichkeiten, da mit dessen Hilfe alle Beteiligten gemeinsam 3D-Modelle betrachten und bearbeiten können. Auch Zeigen bzw. Zeigegesten sind möglich, ebenso das Erstellen von Annotationen und skizzenhaften 3D-Modellen während kollaborativer Design Reviews. Visualisierung und Interaktionen wurden mittels Virtual-Reality-Technologien realisiert und können auch umfangreiche CAD-Modelldaten verarbeiten.

Das System orientierte sich an den gemeinsam mit den regionalen Projektpartnern erarbeiteten Anforderungen, um in deren Geschäfts- bzw. Produktentstehungsprozesse eingebettet werden zu können. Dadurch wurde ein System geschaffen, das es kleinen und mittelständischen Unternehmen, wie zum Beispiel Zulieferfirmen oder Dienstleistungsanbietern ermöglicht, untereinander, mit OEMs und anderen Akteuren in Austausch zu treten. Im Rahmen des Projekts wurden Anwendungsfälle aus zwei thematischen Schwerpunkten untersucht: kollaborative Produktentwicklung im Automobil- und Maschinenbau sowie Nutzung virtueller Stadtmodelle für die Baustellenplanung. Diese wurden in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten regionalen Partnern entwickelt, evaluiert und erfolgreich getestet.

8. Anhang 1: Referenzen

1. Gregor Dürrenberger and Jeanette Behringer. 1999. Die Fokusgruppe in Theorie und Anwendung. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart.
2. Patrick Fehling, Florian Hermuth, Johann Habakuk Israel, and Thomas Jung. 2018. Towards Collaborative Sketching in Distributed Virtual Environments. Kultur und Informatik, vwh Verlag Werner Hülsbusch, 253–264. ISBN 978-3-86488-128-2
3. OpenCascade. Open CASCADE Technology, The Open Source 3D Modeling Libraries | Collaborative development portal. Retrieved January 24, 2018 from <https://dev.opencascade.org/>
4. Margitta Pries, Ute Wagner, Johann Habakuk Israel, and Thomas Jung. 2019. Ein Beitrag zur Verwendung von Technologien der Virtuellen Realität für Design-Reviews. In *Entwerfen, Entwickeln, Erleben in Produktenentwicklung und Design (EEE2019)*, 75–84. Dresden: TUD press.
5. Igor Tag, Margitta Pries, Ute Wagner, Johann Habakuk Israel, and Thomas Jung. 2018. Geometrische und softwaretechnische Aspekte bei der Implementierung eines VR-Kollaborationssystems. 21. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten (3D-Nordost 2018), Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V. (GFaI), 149–158. ISBN 978-3-942709-19-4
6. Unity. 2018. Game Engine. Retrieved January 24, 2018 from <http://unity3d.com/>
7. Markus v.d.Heyde. 2018. Ermittlung der Unterschiede verschiedener Revisionsstände von CAD-Daten und ihre Darstellung im virtuellen Raum. Masterarbeit, Beuth-Hochschule für Technik Berlin

Die Referenzen 2, 4 und 5 stellen Veröffentlichungen aus dem Projekt dar.

