VAR² 2017 – Realität erweitern

4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung an der Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

Tagungsband

Technische Universität Chemnitz

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Reimund Neugebauer

Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz

Dr.-Ing. Philipp Klimant

VAR^2 2017 − Realität erweitern

4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien
an der Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
der TU Chemnitz

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. habil. Reimund Neugebauer
Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Dr.-Ing. Philipp Klimant

Wichtige Hinweise:

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Beiträge selbst verantwortlich. Die Herausgeber des Tagungsbandes übernehmen keine Gewähr, insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte.

© 2017

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
http://www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch/
ISBN 978-3-00-058419-0

Inhaltsverzeichnis

Klimant, P.; Klimant, F.; Wittstock, E.; Kollatsch, C.; Putz, M.
Arbeiten mit virtuellen Techniken - Industrieller Einsatz, aktuelle Forschung und zukünftiger Mehrwert 5

Plenarvorträge

Hüttner, S.; Reuter, Th.
Gegenwart und Zukunft von Mixed Reality am Beispiel einer Hololens Anwendung für das smac Chemnitz 21

Kunz, A.; Wegener, K.
Der Einsatz der virtuellen Realität in der Produktionsplanung 27

Claußß, T.; Bergner, J.; Fiedler, B.; Sladeczek, C.; Brix, S.
Audioobjekte zur Hörbarmachung virtueller Welten 37

Wolf, D.; Bierwirth, D.
Digitaler KVP mit virtuellen Technologien - Montage- und Logistikprozesse frühzeitig erproben 49

Hahne, U.; Jansson, I.; Falk, J.; Hampf, M.
Hololens und smarte 3D-Sensorik 55

Augmented Reality

Friedewald, A.; Rost, R.; Meluzov, N.
Maritime Ausrüstungsmontage mit kollaborativer Augmented Reality 67

Oppermann, L.; Shekow, M.
Auto AR - Visualising Architectural Data using Mobile Panoramic AR 79

Produktentwicklung & kollaborative VR

Gebert, M.; Steger, W.; Stelzer, R.; Bertelmann, K.
Konfiguration und Auslegung kundenspezifischer Produkte in einer VR-Umgebung 89

Korzetz, M.; Schuster, B.

Praxisbeispiel zu Anwendungen von Mixed Reality in Produktion und Gebäudebetrieb 101

Rabätje, R.; Menzel, S.; Wochnig, M.

Herausforderungen bei kollaborativen Anwendungen mit VR-HMDs 111

Interaktion in virtuellen Welten

Perret, J.

Applications of Force-Feedback for Industry 4.0 123

Goldhahn, L.; Bock, D.

Bedienkonzepte maschineller Anlagen und deren virtuelle Validierung 129

Herbort, S.; Willneff, J.; Jagiella, N.; Schröder, F.; Kiechle, P.; Abouee, A.

Markerloses Tracking und bildbasierte Validierung von Schraubvorgängen 137

Anwendung von Virtual Reality

Häfner, V.

Modelling Smart Virtual Environments 151

Schmidt, A.; Pflüger, J.; Schubotz, R.; Harth, A.

Architektur und Umsetzung eines semantischen VR Asset Repositories 163

Lorenz., M.; Bernhagen, M.

Chancen und Risiken von VR in der Produktentwicklung 173

Arbeiten mit virtuellen Techniken – Industrieller Einsatz, aktuelle Forschung und zukünftiger Mehrwert

Klimant, P.[1]; Klimant, F.[1]; Wittstock, E.[1]; Kollatsch, C.[1]; Putz, M.[1]

[1] TU Chemnitz, Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

Abstract

Die mittlerweile vierte VAR²-Konferenz *VAR² 2017 – Realität erweitern* gibt einen Überblick über aktuelle Trends in der Forschung sowie den industriellen Einsatz Virtueller Techniken. In mehreren Plenarsessions sowie den Sessions zu Augmented Reality, Produktentwicklung & kollaborative VR, Interaktion in virtuellen Welten sowie Anwendungen von Virtual Reality, stellen renommierte Forscher neueste Entwicklungen und Unternehmensvertreter industrielle VR/AR-Anwendungen vor. Dieses Paper gibt zum Einstieg in die Thematik einen Überblick über das Arbeiten mit Virtuellen Techniken sowie aktuelle Entwicklungen aus der Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung an der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik der TU Chemnitz.

1 Einleitung

Immer neue, leistungsfähigere VR- und AR-Hardwaresysteme und die Digitalisierung als eines der derzeitigen Trendthemen tragen zum einen zu einer deutlichen Intensivierung der Forschung auf dem Gebiet der Virtual und Augmented Reality (VR/AR) bei. Zum anderen wird der vermehrte, gewinnbringende industrielle Einsatz dieser Systeme ermöglicht.

Im Bereich VR sind die finanziellen Einstiegshürden durch die verstärkte Einführung von Head-Mounted-Displays (HMDs) deutlich gesunken. Das Hauptproblem, welches die Nutzung von VR vor allem in klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) aber nach wie vor bremst, ist die notwendige Datenkonvertierung und Aufbereitung der Daten hin zu einer funktionsfähigen, für den speziellen Anwendungsfall nutzbaren VR-Anwendung. Darüber hinaus überwiegt die Skepsis der Unternehmen, ein positives Kosten-/Nutzenverhältnis erzielen zu können. Um vor allem die letztgenannte Hürde zu überwinden und Unternehmen die Möglichkeit zu geben, Virtuelle Techniken und deren Potenziale für den industriellen Einsatzes kennenzu-

lernen, wurde 2015 das AVARE-Netzwerk[1] zur Anwendung Virtueller Technologien gegründet. Hier können sich vor allem KMU bei Workshops über Anwendungsmöglichkeiten informieren, über eigenen Erfahrungen austauschen und bei Open Lab Days die Konvertierung eigener Daten in VR-Anwendungen ausprobieren. Außerdem ist die Nutzung des VRCP-Labors der Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik möglich. Hier können neben HMDs auch verschiedene VR-Projektionssysteme, wie eine 5-Seiten CAVE, eine Powerwall und ein VR-Roboterarbeitsplatz, genutzt werden.

2 Industrieller Einsatz Virtueller Technologien

Neben der verwendeten Technologie muss beim Einsatz Virtueller Techniken nach Art der Anwendung unterschieden werden. Die meisten existierenden Anwendungen fallen dabei entweder in die Kategorie der Entscheidungsunterstützung, Schulung und Training oder der Unterstützung manueller Tätigkeiten.

2.1 Virtual Reality

Schon seit langem werden in großen Unternehmen große VR-Systeme für bestimmte Aufgaben, vorwiegend in der Produktentwicklung, eingesetzt. Die Systeme, zumeist CAVE oder Powerwallsystem, basieren auf Projektionstechnik, die stereoskopische Wiedergabe mit Tracking des Benutzers und anspruchsvoller Rechentechnik verbinden. Die Softwaresysteme (z.B. IC:IDO[2], Visionary Render[3]) sind gleichermaßen komplex und speziell für den Einsatz in den anwendenden Industriezweigen wie Automobilbau, Flugzeugindustrie aber auch beispielsweise der chemischen Industrie ausgelegt. Die Nutzung, meist fokussiert auf die Arbeit mit dem digitalen Prototypen des Produktes, kann dabei grob zwischen dem Einsatz von Visualisierungen als intuitiv verständliche Darstellungsform für den Menschen (einzeln oder in Gruppen) und interaktiven Anwendungen unterschieden werden.

Visualisierungen, bei denen der Mensch die Beurteilung vornimmt um Fehler zu finden oder das Produkt besser zu gestalten, basieren durchgängig auf der Darstellung der Konstruktionsdaten. Das Produkt kann dabei eine einzelne Maschine, z.B. ein Fahrzeug, sein aber auch eine ganze Anlage[4]. Zusätzliche Informationen, wie bspw. die Integration von Simulationsdaten, von ablaufenden Prozessen oder von spezifischen Eigenschaften, tragen zu fundierten Entscheidungen bei. Einen häufig

[1] www.avare.info
[2] https://www.esi-group.com/de/software-loesungen/virtual-reality/icido
[3] https://www.virtalis.com
[4] http://www.ureality.de/blog/portfolio-items/virtual-und-augmented-reality-fuer-daimler-benz-rastatt

genutzten Spezialfall stellt dabei die Kommunikation mit dem Kunden bzw. mit zukünftigen Kunden dar. An dieser Stelle wird häufig hoher Aufwand betrieben, um das Produkt in verschiedenen Ausstattungsvarianten so realitätsnah wie möglich zu präsentieren, um Kunden zu gewinnen oder mögliche Varianten zu diskutieren. In diesem Bereich kommen aktuell auch verstärkt VR-Brillen zum Einsatz, um das Produkt auf Messen zu präsentieren.

Interaktive Anwendungen hingegen erfordern einen erhöhten Aufwand gegenüber der reinen Visualisierung. Virtual Reality wird eingesetzt um bestimmte Untersuchungen am Prototypen durchzuführen. Das sind vor allem ergonomische Untersuchungen (z.B. Blick- und Greifräume, aber auch körperliche Belastungen), Ein- und Ausbauuntersuchungen (z.B. im Hinblick auf die Wartbarkeit eines Systems) und Schulungs-/Trainingssimulationen. Besonders die letzteren sind in der Luftfahrtbranche schon lange üblich, erfahren jedoch immer mehr Verbreitung. Die Vorteile dabei sind kostengünstiger Einsatz, Ausschluss von Gefährdungen und ständige Verfügbarkeit. Ein Beispiel aus jüngerer Zeit ist der Einsatz von VR-Brillen für die Schulung an Gabelstablern der Firma Jungheinrich[5].

2.2 Augmented Reality

Augmented Reality fristete lange Zeit ein Schattendasein, da trotz großer Forschungsanstrengungen keine geeignete Hardware für die industrielle Nutzung verfügbar war. Erste Geräte mit denen AR zum Einsatz kamen, waren Tablets bzw. Mobiltelefone, die im Wesentlichen zur Visualisierung bei Wartung / Instandhaltung zum Einsatz kommen. Bekannte Beispiele dafür sind die Applikation MARTA von VW[6] und das Tool SART der Airbus Tochter Testia zum Einsatz in Inspektion und Qualitätskontrolle[7].

Durch das Aufkommen von Datenbrillen mit akzeptabler Laufzeit, Verarbeitungskapazität und Bildqualität entstanden die ersten industriellen Anwendungen, die sich vor allem auf den Bereich der Werkerführung konzentrieren. Prominenteste Beispiele dafür sind Logistik und Wartung / Reparatur von Maschinen aller Art. So hat DHL nach Durchführung eines Pilotprojektes Datenbrillen eingeführt. Dabei werden Lagerfachkräfte mit einem Pick-by-Vision-System unterstützt, welches schrittweise den Ablauf ihrer Tätigkeit vorzeichnet[8]. Im Bereich der Wartung / Reparatur reicht die Spanne der verfügbaren Anwendungen von einfachen Konferenzlösungen mit Zusatzinformationen, z.B. KiSoft Web Eye[9], bis zu interaktiven Anwendungen, z.B.

[5] http://www.augmented-reality.at

[6] http://www.tracking-challenge.de/content/tc/content/de/Object-Tracking/Applications.html

[7] http://www.airbus.com/newsroom/press-releases/de/2016/04/Airbus-Group-Unit-Testia-to-Supply-To-Spirit-AeroSystems.html

[8] https://beschaffung-aktuell.industrie.de/logistik/dhl-etabliert-datenbrillen-als-neuen-standard

[9] https://www.knapp.com/kisoft-web-eye-die-neueste-generation-im-service-support

Anymotion mit einer Anwendung zur Instandhaltung von Windkraftanlagen[10] oder von Druckmaschinen[11]. Die lagerichtige Einblendung von 3D-Inhalten wird allerdings erst mit Datenbrillen möglich, die stereofähig sind, wie z.B. die Microsoft Hololens. Thyssen-Krupp will für seine Aufzugssparte den Einsatz der Hololens flächendeckend ausrollen und mit dem intelligenten Wartungssystem MAX verbinden[12].

Einen Sonderfall stellt die Projektive AR oder Spatial Augmented Reality dar, bei der mittels eines unabhängigen Projektors Informationen oder Anleitungen projiziert werden. Führend sind die Anwendungen von Extend3D[13] mit ihrem integrierten System Werklicht. Diese Systeme werden vor allem zur Unterstützung manueller Tätigkeiten, wie Montageassistenz, Schweißen [1] oder Lackierarbeiten, genutzt. Andere Einsatzfelder sind Visualisierungen direkt auf dem Produkt bzw. auf Teilen davon zur Wiedergabe von Messdaten oder zu Schulungszwecken[14].

3 Aktuelle Forschungstrends

Vor allem die wesentlichen Verbesserungen sowohl der Head-Mounted-Displays als auch der AR-Datenbrillen in den letzten Jahren sowie die Digitalisierung haben der Forschung zu VR und AR neuen Aufschwung verliehen.

3.1 Augmented Reality

Ein wichtiges Forschungsfeld der Augmented Reality in der Produktion ist die Instandhaltung von Werkzeugmaschinen. Im aktuellen Forschungsprojekt ServAR[15] wird dazu ein AR-System entwickelt, das speziell für den Einsatz in industriellen Umgebungen konzipiert ist und neben der Instandhaltung selbst die Instandhaltungsplanung als wichtigen Unternehmensprozess einbezieht. Das Ziel ist die Verbesserung der manuellen Tätigkeiten des Menschen an der Maschine, der Dokumentation der Maschine und damit des gesamten Instandhaltungsprozesses. Dazu wird zum einen eine neue AR-Brille entwickelt, die für den industriellen Einsatz besonders robust und für den Menschen komfortabel zu tragen ist. Zum Zweiten wird ein Trackingsystem erarbeitet, das einzelne Maschinenteile in industriellen Umgebungen erkennen kann, um damit anschließend die erforderlichen Informatio-

[10] https://anymotion.com
[11] https://idw-online.de/de/news638663
[12] https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemeldungen/press-release-114208.html
[13] http://www.extend3d.de
[14] http://www.tracking-challenge.de/content/tc/content/de/Object-Tracking/Applications.html
[15] Augmented-Reality-basiertes System zur Unterstützung von Inbetriebnahme, Wartung und Instandhaltung an Maschinen

nen für den Menschen automatisch an der richtigen Position anzuzeigen. Ein dritter wichtiger Punkt ist die Nutzung von bestehenden Daten aus der Unternehmensinfrastruktur, wie z.B. CAD-Daten aus einem PDM-System, um die Erstellung der Dokumentation für die AR-Anwendung während der Instandhaltungsplanung effektiv zu gestalten. Die einzelnen Komponenten werden in einer AR-Plattform integriert, die das Erstellen und die Nutzung von AR-Anwendungen an Maschinen für den Menschen vereinfachen soll.

Ein weiteres aktuelles Forschungsfeld ist die Logistik. Im Projekt FOLLOWme[16] [2] wird an fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) für die Intralogistik geforscht. Diese FTFs können dem Menschen von allein folgen oder selbstständig zu einem vorgegebenen Ort fahren. Dazu wird ein optisches Sensorsystem (Laserscanner und 3D-Sensor) auf dem FTF genutzt, wodurch ein Tracking der Umgebung ohne zusätzliche Objekte (wie Marker) durchgeführt werden kann. Ein Bestandteil des Gesamtsystems ist die Unterstützung des Menschen bei der Kommissionierung mittels Augmented Reality. Durch eine Pick-by-AR-Lösung werden dem Kommissionierer Informationen zu den Artikeln und deren Lagerplätzen eingeblendet, um ihn bei der Entnahme vieler individueller Teile zu entlasten. Der Kommissioniervorgang soll damit beschleunigt und die Fehlerquote gesenkt werden. Zudem werden Informationen zum Gesamtauftrag und dem FTF aus der Logistikzentrale visualisiert. Insgesamt kann mittels AR die Interaktion zwischen FTF, Logistiksystem und Mensch verbessert werden.

Für die Anwendung von AR im Maschinenbau wird an der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik an dem Framework **ARViewer**[17] geforscht, um individuelle und komplexe Anwendungen in der Produktion auf effiziente Art und Weise realisieren zu können [3]. Durch den modularen Aufbau können verschiedene Komponenten, wie z.B. Trackingbibliotheken und Kameraschnittstellen, je nach Anwendungsfall ausgetauscht werden.

[16] Intralogistiksystem mit Fahrerlosen-Transport-Systemen, https://followme-ils.com
[17] www.auvirea.com

Bild 1: Augmented-Reality-Anwendung für eine Presse mit Kopplung der Maschinensteuerung zum Monitoring und zur Energie- und Datenflussvisualisierung [2]

Durch eine moderne 3D-Visualisierung ist es möglich, komplexe Zusammenhänge anschaulich darzustellen und die Mensch-Maschine-Interaktion zu verbessern. Ein Hauptaugenmerk ist die Einbindung von verschiedenen Datenquellen aus der Produktion, wie z.B. Steuerungsdaten einer Presse oder Prozess- und Produktdaten an einer Montagelinie, um relevante Informationen so schnell wie möglich zur Verfügung stellen zu können. Dadurch können Abläufe in der Produktion optimiert und die Arbeitsbedingungen der Menschen verbessert werden.

3.2 Virtual Reality

Obwohl ursprünglich aus dem Marketing-Bereich stammend, wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von VR-Anwendungen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg entwickelt. Eine wichtige Fragestellung, die dabei jedoch häufig außer Acht gelassen wird, ist die des **subjektiven Empfindens** der Nutzer, vor allem im Vergleich zwischen VR und der Realität: Können Erkenntnisse, die mit Hilfe einer VR-Umgebung erzielt worden sind, mit solchen aus der realen Umgebung verglichen werden? In diesem Sinne wurden an der Professur Nutzerstudien zu verschiedenen Themen durchgeführt. Zum einen wurden Nutzer real und virtuell auf eine Stadtrallye geschickt, um so Erkenntnisse zu Presence, Usability und User Experience zur erhalten. Es konnte nachgewiesen werden, dass VR-Umgebungen einerseits einen positiven Einfluss auf die wahrgenommene hedonische Qualität eines Produktes haben und andererseits die negativen Effekte der VR (bspw. Motion Sickness) die wahrgenommene Usability negativ beeinflussen. [4] Werden diese Effekte jedoch berücksichtig, sind VR-Umgebungen als Test- und Entwicklungsumgebungen gut geeignet. Im DFG-Forschungsprojekt zur Nutzung von VR zur Risikobeurteilung liegt der Schwerpunkt auf dem subjektiven Erleben der Nutzer. Dazu wurden experimentelle Studien zum Vergleich der Durchführung von Risikobeurteilungen (RB) und Sicherheitsunterweisungen (SU) jeweils in VR und in realer Umgebung durchgeführt. Die Studie zur RB mit 27 Experten zeigte, neben der generellen Durchführbarkeit einer VR-basierten RB, dass die höhere Detaillierung von

CAD-Modellen mit fortschreitender Maschinenentwicklung eine effektive Identifikation von Gefährdungen unterstützt, obwohl diese zum Teil von grundlegenden Risiken ablenkt [5]. Die Studie zur SU mit 121 Berufsschülern wies nach, dass die VR-geschulten Berufsschüler die Risiken an einer realen Maschine insgesamt realistischer einschätzen konnten [6].

Neben innovativen Interaktions- und Eingabemethoden, wird an der Erhöhung der Immersion durch **auditives Feedback** geforscht. Dabei werden zumeist die Trackingdaten der VR-Brille des Hauptnutzers in einer VR-Umgebung als Positionswert angenommen und passend dazu ein Audiosignal, üblicherweise als Stereoton, über Lautsprecher ausgegeben. Ein anderer Ansatz ist die Wellenfeldsynthese, in der mit Hilfe von mehreren Lautsprecherarrays Wellenfronten erzeugt werden, die von einem virtuellen Punkt ausgehen. Diese Wellenfronten füllen dann den kompletten Raum des VR-Systems aus. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Audiowahrnehmung des Nutzers durch diese Wellenfronten nicht mehr von seiner Position abhängig ist und somit die Audioausgabe für mehrere Nutzer passend zur angezeigten VR-Szene ausgegeben werden kann. Der Hauptnachteil des Systems ist jedoch der hohe Preis, der sich zum einen aus teurer Hardware, vor allem durch die vielen Lautsprecher (üblicherweise zwischen 32 und 128 Stück) und entsprechende Verstärker, die die Lautsprecher ansteuern können und zum anderen aus dem hohen Aufwand für das Audiorendering sowie der Wellenfeldsynthese selbst zusammensetzt. Das aktuell größte Wellenfeldsystem ist im Hörsaal 104 der Technischen Universität Berlin verbaut[18]. Hier sorgen 2.700 Lautsprecher und 832 Kanäle für entsprechenden Raumklang. Um ein möglichst geschlossenes Wellenfeld zu erzeugen, sind die Lautsprecher nur maximal 10 cm voneinander entfernt.

Im Projekt AVP³ „Akustisch erweiterte Virtualisierung von Produkten und Produktionsprozessen“[19] entwickeln und erforschen fünf Unternehmen und zwei Forschungseinrichtungen audio-visuelle 3D-VR-Technologien für praktische Aufgabenstellungen. Durch die ganzheitliche Betrachtung der kompletten Schallentstehungskette entstehen leistungsfähige akustische Modelle für definierte Produkte und Übertragungsfunktionen für die Auralisation mittels Wellenfeldsynthese und Binauraltechnik. Im Ergebnis werden Prototypen entwickelt, die Audiowiedergabe und VR-Umgebung mit entsprechend geeigneten Visualisierungs- und Interaktionsfunktionen koppeln. Aus den Ergebnissen sollen Standards für die Definition eines universellen objektorientierten Datenformats und zur Beschreibung und zum Austausch von Daten technischer Produkte entstehen.

Hardwareseitig sind seit ein bis zwei Jahren Head-Mounted-Displays (HMDs) auf dem Vormarsch. Sie bieten neben geringeren Anschaffungskosten (im Vergleich zu großen projektiven Systemen) und verschiedenen, aus dem Gaming-Bereich

[18] http://www.ak.tu-berlin.de/menue/fachgebiet_audiokommunikation

[19] www.avp3.info

stammenden Interaktionsgeräten, den Vorteil der vollständigen Immersion. Ein wesentlicher Nachteil von HMDs ist, dass sich der Nutzer allein in der VR-Szene befindet und eine Interaktion mit der Umwelt und anderen Nutzern nur sehr schwierig möglich ist. Hier versuchen Forschungsvorhaben zu kollaborativen VR-Anwendungen, die mehrere HMDs miteinander verbinden[20], Abhilfe zu schaffen.

3.3 Virtueller Zwilling und Maschinensimulation

Im Hinblick auf die Mensch-Maschine-Interaktion fokussieren Augmented und Virtual Reality die Mensch-Seite, indem Visualisierung und Interaktion mit 3D-Modellen, aber auch Zusatzinformationen im Vordergrund der Entwicklungen stehen. Doch woher kommen die Daten, die bei AR im realen Produktionsumfeld zur Unterstützung eingeblendet werden bzw. die als Grundlage für die VR-Szenen dienen? Sie entstammen sowohl dem Produktentwicklungsprozess (bspw. Konstruktions-/CAD-, Planungs- oder Simulationsdaten) oder sie wurden während der Produktion/Fertigung aufgezeichnet (bspw. Maschinen- oder Prozessdaten). Die Sammlung, Speicherung und Verarbeitung dieser Daten erfolgt mittels sogenanntem **Virtuellem Zwilling**. Bild 2 zeigt die Definition des Virtuellen Zwillings sowie dessen Zusammenhang zur durchgängigen Datenintegration, zum Realdatenmanagement sowie zu 3D-Geometrie und der zeitlichen Komponente.

[20] http://www.automotiveit.eu/neuer-golf-entsteht-im-virtuellen-raum/entwicklung/id-0058901

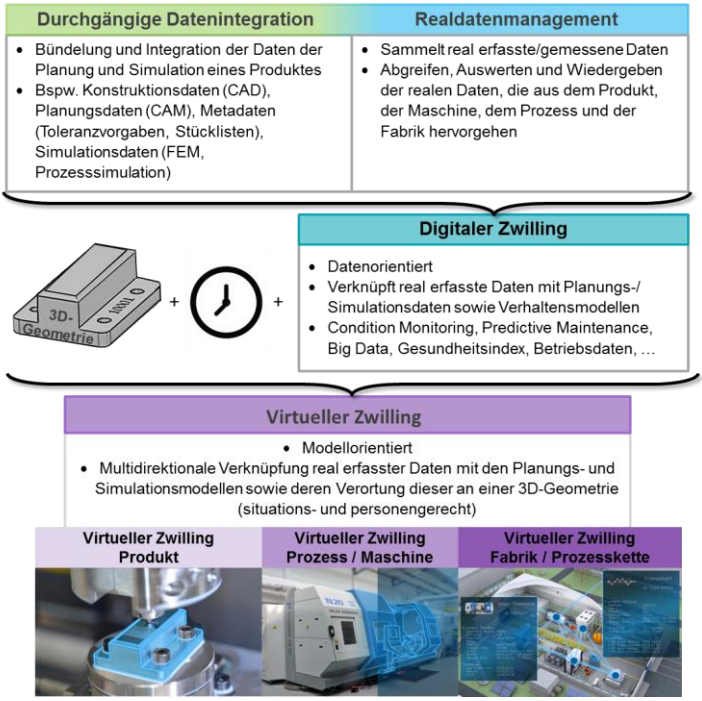


Bild 2: Definition und Abgrenzung des Begriffs Virtueller Zwilling

In zwei aktuellen Forschungsprojekten steht der Virtuelle Zwilling im Fokus der Betrachtungen – HEIGHT[21] und AMARETO[22]. Im Projekt HEIGHT wird eine verkürzte Prozesskette zur generativen Fertigung metallischer Hochleistungsbauteile entwickelt. Parallel dazu wird ein Virtueller Zwilling sowohl des entstehenden Produktes als auch der neuen Prozesskette konzeptioniert und umgesetzt, der eine weitere Verbesserung der Produkte bei maximaleffizienter Fertigung sowie eine lückenlose Nachvollziehbarkeit der Produkthistorie zu Dokumentationszwecken ermöglicht. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt dabei zum einen auf der durchgehenden Datenintegration und zum anderen auf einem Datenmanagement, das auf die neu entwickelten Prozesse abgestimmt ist. So wird es möglich, prozessübergreifend auf die gesamte Fertigung blicken zu können und bereits während des ersten, generativen Fertigungsschrittes die idealen Voraussetzungen für die nachgelagerten Prozesse (Glattwalzen und Fräsen auf einer Maschine) zu schaffen.

[21] Entwicklung einer hochintegrativen Prozesskette zur generativen Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen samt dazugehörigem virtuellen Zwilling, www.innoteam-height.de

[22] Sächsische Allianz für Material- und Ressourceneffiziente Technologien, www.amareto.info

Zusätzlich kann der Virtuelle Zwilling genutzt werden, um eine ständige Prozessoptimierung vorzunehmen.

Die durchgängige Datenintegration umfasst dabei (mindestens) die relevanten Simulations-, Konstruktions- und Planungsdaten sowie die nötigen Metadaten der Prozesse und die Definition der jeweiligen Abhängigkeiten. Durch die Integration der gesammelten Daten, unter Zuhilfenahme der jeweiligen Softwaresysteme in ein übergeordnetes Produktdatenmanagement-System (PDM) bzw. Product-Lifecycle-Management-System (PLM), entsteht für jeden Werkstücktyp ein Datensatz aus denjenigen Daten, die für seine Entstehung notwendig sind. [7]

Das Realdatenmanagement bezieht sich auf die Erfassung, Integration und Wiedergabe derjenigen Daten, die während bzw. nach dem Prozess aus der Maschine und dem Werkstück abgegriffen werden. Die enormen Datenmengen, die während der einzelnen Prozessschritte anfallen, werden mittels Algorithmen anhand vorher festgelegter Bereiche vorsortiert und anschließend ebenfalls im PDM/PLM-System abgelegt. Letztendlich entsteht der Virtuelle Zwilling durch die Verknüpfung der beiden Datenströme sowie deren Verortung am passenden dreidimensionalen Modell. Darüber hinaus ist die Zuordnung der Daten zum Zeitpunkt ihrer Erfassung relevant. [7]

Während im HEIGHT-Projekt eine neue, verkürzte Prozesskette entwickelt werden soll, beginnen die Betrachtungen in der Forschungsallianz AMARETO viel früher, nämlich schon beim zu verarbeitenden Material selbst. Ausgehend von der Entwicklung neuartiger Hochleistungs-/Mehrkomponentenwerkstoffe sollen neue Produkt- und Prozessinnovationen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg entwickelt werden. Zentraler Punkt ist dabei die Erstellung und Nutzung eines Virtuellen Zwillings für Produktion und Produkt. Der Fokus liegt dabei auf der Schaffung eines durchgängigen Datenmodells, das sowohl rein virtuell erstellte Daten (z.B. CAD) als auch real gemessene Daten (z.B. Oberflächenqualitäten) mit einer dreidimensionalen virtuellen Repräsentation des physischen Zwillings verknüpft. Durch diese konsistente Datenerfassung müssen Daten nicht mehrfach während des Produktentwicklungs- bzw. Produktionsprozesses erzeugt werden, sondern können direkt wiederverwendet werden. Um dieses Ziel in einer heterogenen Software-Landschaft zu erreichen, müssen einerseits Schnittstellen zu Drittdatensystemen geschaffen werden. Andererseits müssen Methoden zur Verknüpfung, Verdichtung und Speicherung der erfassten (3D-)Daten erarbeitet werden.

Während des Produktionsprozesses können viele der relevanten Daten direkt aus der NC-Steuerung der Maschine ausgelesen werden. Dazu gehören Prozessparameter wie bspw. Spindelströme, mit denen sich die Last auf die Spindel bestimmen lässt, sowie Maschinenparameter, wie Positionswerte der Maschinenachsen und verwendete Werkzeuge. Diese Daten können zum einen zur späteren Nutzung in den Virtuellen Zwilling integriert werden, zum anderen können sie direkt in VR/AR-Szenen visualisiert oder zur Steuerung virtueller Modelle genutzt werden.

In mehreren Projekten wurden reale NC-Maschinensteuerungen mit virtuellen VR-Modellen gekoppelt. Ursprünglich dafür gedacht vor einer realen Bearbeitung eines Werkstücks auf einer Fräsmaschine den Arbeitsraum und das NC-Programm auf Fehler- und Kollisionsfreiheit hin zu überprüfen, kamen später dann noch Energieverbrauchsprognose und Oberflächengüte des Werkstücks hinzu. Letzteres ist notwendig, um zu einem späteren Zeitpunkt beurteilen zu können, ob eine gewünschte Fertigungsqualität überhaupt auf der gewählten Maschine erreicht werden kann. Gerade die Kopplung zwischen einer in Echtzeit arbeitenden Maschinensteuerung und einem 3D-Modell stellt enorme Anforderungen an die VR-Szene. Echtzeit muss hier der Echtzeit der Maschinensteuerung entsprechen. Neben den Bewegungen der virtuellen Maschinenachsen soll in dieser Zeit auch das Werkstück virtuell bearbeitet werden und der komplette Arbeitsraum auf Kollisionsfreiheit, bspw. zwischen Spannvorrichtung und Werkzeug, geprüft werden. Um dafür notwendige Simulationsanteile modular zwischen die NC-Steuerung und die VR-Simulationsumgebung schalten zu können, wurde ein modulares Simulationsmodell entwickelt. So ermöglicht dieses System bspw. die Betrachtung weiterer maschinenbezogenen Simulationen, wie die statische Steifigkeit oder des dynamischen Maschinenverhaltens [8]. Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung eines modularen Baukastensystems, welches verschiedene Maschinenvarianten in einer Simulationsumgebung darstellen kann [9]. Bild 3 stellt das Prinzip dieses modularen Baukastensystems dar.

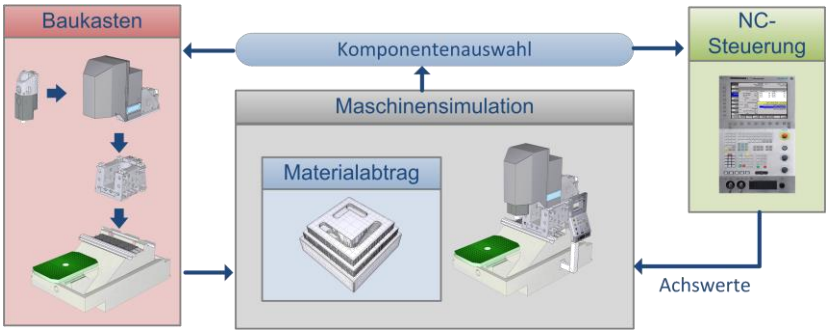


Bild 3: Prinzip der modularen Maschinensimulation (in Anlehnung an [6])

Durch die Verwendung der aktuellen Positionswerte der Werkzeugmaschine, in Kombination mit der aktuell verwendeten Werkzeugnummer, wurde ein Antikollisionssystem entwickelt, welches Kollisionen im Arbeitsraum einer Werkzeugmaschine sicher verhindert [10]. Die aktuellen Positionswerte der Maschine werden dafür auf ein 3D-Modell der Maschine gelegt und dieses verfährt parallel zum realen Bearbeitungsprozess. Da das 3D-Modell exakt parallel zur realen Bearbeitung arbeitet, müssen virtuelle Hüllmodelle um die virtuellen beweglichen Maschinenkom-

ponenten gelegt werden, ähnlich wie virtuelle Airbags, um den notwendigen Bremsweg zu gewährleisten, der notwendig ist, um die Maschine vor Eintreten einer realen Kollision sicher zu stoppen. Diese virtuellen Airbags werden dabei so gewählt, dass sie den realen Bearbeitungsprozess durch bspw. falsche Kollisionsmeldungen und nicht notwendige Stopps so wenig wie möglich beeinträchtigen. Bild 4 zeigt beispielhaft die Kollisionshüllen für ein Antikollisionssystem auf Basis von zwei Hüllen (Airbags) am Beispiel des Werkzeugs.

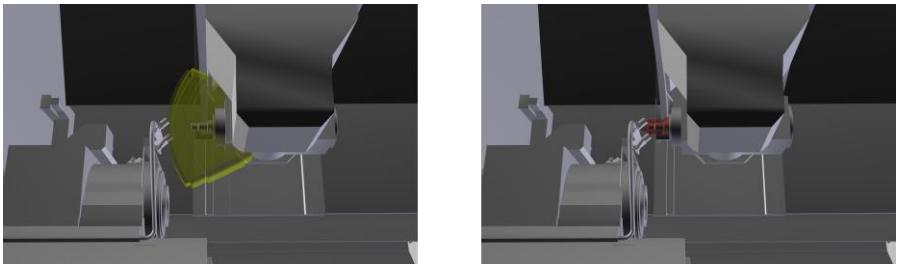


Bild 4: Vorschubreduzierungs- und Stopphülle des Antikollisionssystems

Die erste (gelbe) Hülle garantiert dabei, dass eine maximale Vorschubgeschwindigkeit nicht überschritten wird, die zweite, kleinere, rote Hülle ist die Stopphülle. Wird eine Kollision der gelben Hülle mit einer anderen Maschinenkomponente festgestellt, wird die Geschwindigkeit der sich bewegenden Maschinenachse auf die zugelassene Höchstgeschwindigkeit reduziert, sofern die Momentangeschwindigkeit höher ist. Kollidiert die rote, kleinere Hülle mit einer Maschinenkomponente, wird die gesamte Maschine gestoppt. Die Hüllen sind dabei so berechnet, dass der Stopp rechtzeitig erfolgt. Da für jede bewegliche Achse und jedes verwendete Werkzeug mehrere Hüllen erstellt werden müssen, ist dieses Antikollisionssystem sehr aufwendig in der 3D-Modellierung. Vor allem bei sehr komplexen, schwer spanbaren und sehr komplexen Werkstücken, bei denen Kollisionen sehr schnell sehr teuer werden, lohnt sich der Aufwand. Das entwickelte Antikollisionssystem wird aktuell vor allem in der Luftfahrtindustrie eingesetzt.

4 Zukünftiger Mehrwert

Die größten Hürden, die einem vermehrten Einsatz von VR/AR derzeit noch entgegenstehen, sind zum einen der nicht unerhebliche Aufwand zur Erstellung der Inhalte (Datenkonvertierung und -aufbereitung, Integration von Zusatzinformationen), zum anderen das teilweise komplizierte Handling der Systeme (Inbetriebnahme, Wartung, etc.). Nach wie vor sind zur Erstellung von VR/AR-Anwendungen sowie zum Betrieb der Systeme Experten notwendig. VR/AR werden sich jedoch erst

dann auch in kleinen und mittelständigen Unternehmen durchsetzen, wenn sie sich nahtlos in die bestehenden Systeme integrieren lassen.

Vor allem im Bereich der AR-Technologie müssen sich die Datenbrillen entscheidend weiterentwickeln, hinsichtlich Akkulaufzeit, Field of View, Visualisierungsqualität sowie Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen. Außerdem müssen flexiblere Interaktionsformen implementiert werden.

Je komplexer Produkte und Prozesse sind, desto eher und desto umfassender werden VR/AR-Technologien in Zukunft genutzt werden, um Menschen bei ihren Tätigkeiten zu helfen und bei Entscheidungen mit relevanten Informationen zu unterstützen. VR, aber vor allem AR, wird in Zukunft eine der entscheidendsten Formen der Mensch-Maschine-Interaktion sein.

Literaturangaben

[1] Moser, S.: Virtuelle Daten lagerichtig auf das Bauteil projizieren. Produktion, no. 29, pp. 3-4, 2015

[2] Dudczig, M.; Schumann, M.; Klimant, P.; Lorenz, M.: Wie sieht die Intralogistik der Zukunft aus? ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2016, 111(7-8), pp. 449-452

[3] Klimant, P.; Kollatsch, C.; Schumann, M.: Augmented Reality Solutions in Mechanical Engineering. ASME. International Manufacturing Science and Engineering Conference, Los Angeles, California, USA, June 4-8, 2017. Volume 3: Manufacturing Equipment and Systems doi:10.1115/MSEC2017-2858

[4] Brade, J.; Lorenz, M.; Klimant, P.; Klimant, F.; Putz, M.: Virtual Reality for Industrial Application – The Influence of Presence and its Relation to Usability and User Experience. 6. WGP- Jahreskongress, Hamburg 05.-06.09. 2016, Advanced Materials Research Vol. 1140, pp. 537-544, trans tech Publications, Schweiz

[5] Puschmann, P., Horlitz, T., Wittstock, V. & Schütz, A. (2016). Risk Analysis (Assessment) Using Virtual Reality Technology - Effects of Subjective Experience. An Experimental Study, Procedia CIRP, 50, pp. 490-495

[6] Horlitz, T., Puschmann, P., Leder, J., Wittstock, V., & Schütz, A. (2016). No safety, no pay? - Experimentelle Studie zum Einfluss des Erlebens Virtual Reality-gestützter Maschinenmodelle auf riskante Entscheidungen in der Arbeitssicherheit. In: A. C. Bullinger (Hrsg.) 3D SENSATION - transdisziplinäre Perspektiven. Verlag aw&I Wissenschaft und Praxis.

[7] Brade, J.; Posdzich, M.; Klimant, P: Neue Konzepte und Technologien zur prozessübergreifenden Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen.

In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2017, 112(3): pp. 122-125. DOI: 10.3139/104.111672

[8] Neugebauer, R.; Klimant, P.; Witt, M.: Realistic Machine Simulation with Virtual Reality. Procedia CIRP, Vol. 3, 2012, pp. 103-108. 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2012, DOI: 10.1016/j.procir.2012.07.019

[9] Witt, M.; Klimant, P.: Hardware-in-the-Loop Machine Simulation for Modular Machine Tools, 15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, Procedia CIRP 31 (2015): pp. 76-81. DOI: 10.1016/j.procir.2015.03.015

[10] Schumann, M.; Witt, M.; Klimant, P.: A Real-Time Collision Prevention System for Machine Tools (Part II). 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems (48th CMS), 24.-26.06.2015 Ischia, Italy. Vol. 41, 2016; pp. 789-794. Elsevier B.V., https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.140

Plenarvorträge

Gegenwart und Zukunft von Mixed Reality am Beispiel einer Microsoft HoloLens Anwendung für das smac Chemnitz

Hüttner, S.[1]

[1] Microsoft Deutschland GmbH, Berlin

Abstract

Das Staatliche Museum für Archäologie in Chemnitz (smac) zeigt in seiner Ausstellung derzeit Fundstücke aus einem über 7000 Jahre alten Brunnen, der eines der ältesten Holzbauwerke Europas darstellt und sich derzeit noch in der Konservierung befindet. Bereits während der Zeit der Ausgrabungen wurden umfangreiche 3D-Modelle angefertigt – sowohl vom Brunnen, als auch von den einzelnen Fundstücken. Diese 3D-Modelle dienen als Grundlage für eine Mixed Reality Anwendung mit der Microsoft HoloLens, die es den Museumsbesuchern ermöglicht den neolithischen Brunnen jetzt schon zu sehen und vielschichtige und weiterführende Informationen zu erhalten. Zukünftige Möglichkeiten wie Hinzufügen von haptischen und taktilen Reizen und der automatischen Erstellung von Inhalten und Apps werden angesprochen.

Bild 1: Microsoft HoloLens im smac vor Vitrine mit Fundstücken aus dem neolithischen Brunnen

1 Mixed Reality

1.1 Begriff Mixed Reality

VR (Virtual Reality) und Mixed Reality bzw. AR (Augmented Reality) haben in unseren Alltag bereits in vielen Bereichen Einzug gehalten. Das Thema der virtuellen Realität hat mit der Verbreitung der Oculus Rift im Computerspielebereich in letzter Zeit einen neuen Medienhype verursacht. Neben der Spieleindustrie werden darüber hinaus im Zuge von Industrie 4.0 neue Anwendungen entwickelt. Grundsätzlich alle in 3D abgebildeten Systeme lassen sich „begehen“ und machen es möglich, Fertigungsprozesse oder Nutzungsoptimierung bereits in der Projektplanung nachzuvollziehen und so Fehlerquellen frühzeitig zu erkennen [1]. Unter Mixed Reality werden Umgebungen oder Systeme zusammengefasst, die die reelle (physische) Welt mit einer virtuellen Realität vermischen.

Microsoft hat hierzu Guidelines veröffentlicht https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed_reality.

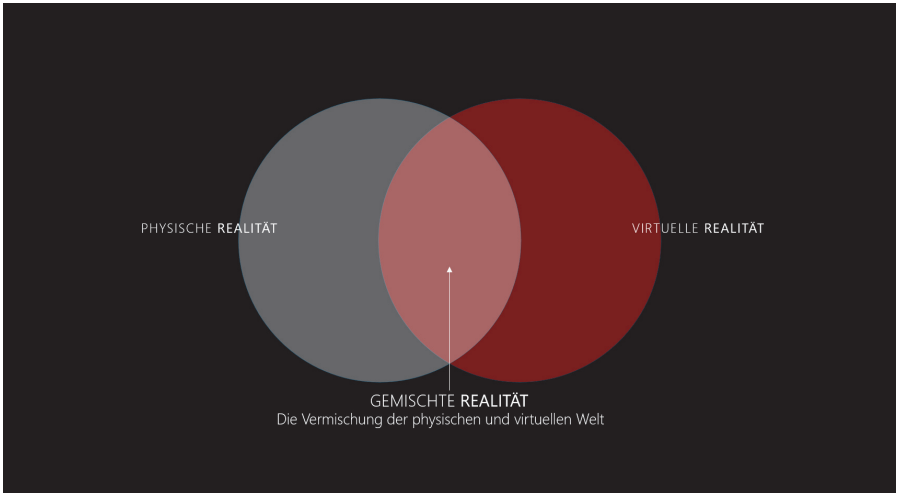


Bild 2: Mixed Reality, Microsoft

Im „Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum“ (nach Paul Milgram, 1994[2]) sind die erweiterte Realität (Augmented Reality, AR) und erweiterte Virtualität (Augmented Virtuality) Teil der sogenannten gemischten Realität (Mixed Reality).

1.2 Microsoft HoloLens

Microsoft HoloLens verbindet die physische und die virtuelle Realität, indem Hologramme – also künstlich erschaffene virtuelle Objekte und Welten – in die reale Welt einblendet werden. Er ist der erste eigenständige holografische Computer der Welt. Microsoft HoloLens benötigt keine zusätzlichen Kabel oder externe Sensoren. Mit ihm kann sich völlig frei im Raum bewegt werden.

Fortschrittliche Kameras und Sensoren im Inneren erfassen kontinuierlich den Raum und Aktivitäten. Dazu stehen vier Mikrofone für die Sprachsteuerung, eine Tiefenkamera, eine 1 HD Kamera um das Erlebte aufzuzeichnen und zwei Kameras – je links und rechts zur Verfügung, die die Umgebung und Bewegung erfassen.

Bild 3: Microsoft HoloLens transparente Optik, Microsoft

Die durchsichtige holografische Optik arbeitet mit einem fortschrittlichen optischen Projektionssystem. Die Hologramme werden mittels optischer Projektion auf diese transparenten Linsen gebracht und erzeugen ein multidimensionales Farbbild mit einer Auflösung von bis zu 2.3 Mio. Lichtpunkten.

Die holographische Prozessor Einheit (Unit) HPU ist ein speziell entwickelter Prozessor, der große, über die Sensoren eingehende Datenmengen verarbeiten kann. Über die HPU kann Microsoft HoloLens in Echtzeit Gesten erkennen, die Blickrichtung ermitteln und die reale Umgebung erfassen.

Microsoft HoloLens gibt Audioinhalte so wieder, damit die 3D Objekte im Raum akustisch wahrgenommen werden können. So werden die Hologramme stärker einbezogen und überdecken trotzdem nicht die reale Welt. Die Lautsprecher erzeugen einen räumlichen Klang, sodass die virtuellen Objekte im Raum gehört aber auch lokalisiert werden können, selbst wenn sich das Hologramm außerhalb des Blickfeldes befindet.

2 Microsoft HoloLens Anwendung für das smac Chemnitz

2.1 Der neolithische Brunnen

Mixed Reality im Museum der Zukunft – Museum 4.0 - bietet die Möglichkeit digitalisierte und die dazugehörigen physischen 3D Objekte in ihrem Kontext zu zeigen. Microsoft HoloLens kann durch ihre in Abschnitt 1.2 beschriebenen Möglichkeiten die Bezüge und Informationen in Hologrammen auf eine völlig neue Art und Weise zu den archäologischen Funden wiederherstellen, indem Objekte nicht nur gezeigt, sondern sie auch erklärt und erlebbar gemacht werden. Selbstverständlich sollen dabei diese Informationen zu einem realen Besuch im Museum bzw. am Kulturdenkmal animieren.

Durch die seit über 10 Jahren laufende 3D-Funddokumentation verfügt das Landesamt für Archäologie in Sachsen (LfA) derzeit über mehr als 15 000 digitalisierte archäologische Objekte. Darunter befinden sich komplexe virtuelle Rekonstruktionen, die in erster Linie für die archäologische Aufarbeitung angefertigt wurden, aber auch in der Dauerausstellung des staatlichen Museums für Archäologie Chemnitz (smac) Bestandteil der Szenografie sind.

Ein herausragender archäologischer Fund der letzten Jahre ist der neolithische Brunnen von Altscherbitz.

Während der Ausgrabung ab 2005 wurde die Konstruktion umfassend dreidimensional dokumentiert und rekonstruiert. Es ist vorgesehen, dass die mehr als 7000 Jahre alten Konstruktionshölzer des Brunnens nach ihrer Konservierung mittelfristig in die Dauerausstellung des smacs integriert werden. Aufgrund der enormen Größe des Brunnenkastens ist es wahrscheinlich, dass nur ein Teil des Bauwerks rekonstruiert und ausgestellt werden kann. Um dem Besucher dennoch die vollständige Konstruktion und vor allem die zahlreichen archäologischen Erkenntnisse zu vermitteln, stellt die Mixed Reality-Applikation ein geeignetes technisches Mittel dar. Alle Hölzer und eine große Anzahl der Funde aus der Verfüllung sind hochauflösend gescannt und inklusive detaillierter Farbinformationen gespeichert.

2.2 Umsetzung des Projektes „Neolithischer Brunnen auf der Microsoft HoloLens

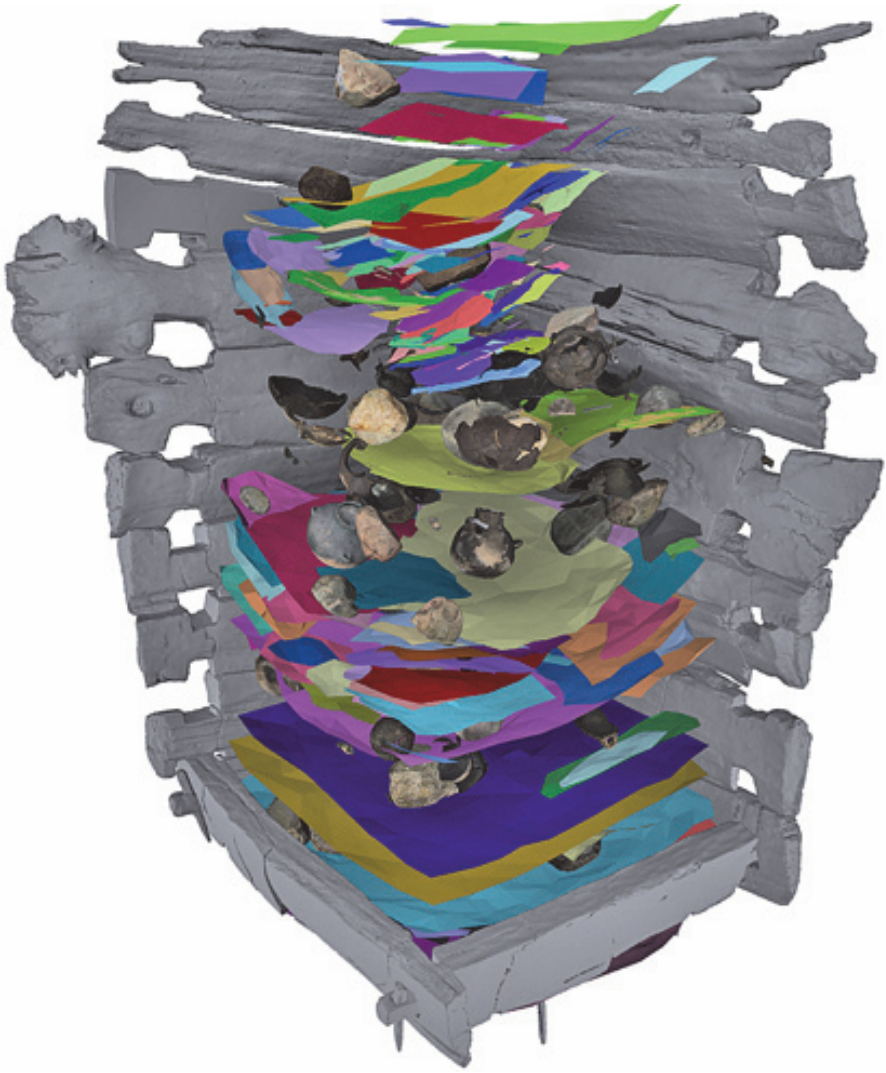


Bild 4: Ein vergleichbares Bild des Brunneninneren bietet sich auch den Betrachtern durch Microsoft HoloLens (© Landesamt für Archäologie)

Microsoft HoloLens kann das 3D-Modell als Hologramm in den Raum projizieren. Der Nutzer bewegt sich beim Betrachten frei im realen Raum, ohne das vollständige Eintauchen in eine virtuelle Realität, die Wirklichkeit wird also hier erweitert.

Microsoft HoloLens wurde seit Mai 2017 bei öffentlichen Veranstaltungen mit vielen Besuchern getestet und zahlreiche Eindrücke und Rückmeldungen von Nutzern erhalten.

2.3 Möglichkeiten für die Zukunft von Mixed Reality

Da alle Funde des LfAs hochauflösend und dadurch sehr datenintensiv gescannt vorliegen, ist für Microsoft HoloLens und andere Virtual und Mixed Reality Geräteeine geeignete Methode zur massiven Datenreduktion um mehr als 95 % notwendig.

Mit dem Microsoft firmeneigenen Programm Simplygon https://www.simplygon.com oder auch anderer Software muss dieser Prozess für andere Museumsstücke automatisiert werden. Dazu bedarf es einiger Forschungsarbeit an Universitäten wie der TU Chemnitz.

Auch müssen z.B. Content Management Systeme für Microsoft HoloLens für Museen entwickelt werden.

Des Weiteren kann auch an haptischen und taktilen Reizen innerhalb der Mixed Reality weiter geforscht werden. Forschungsprojekte an der TU Dresden sind dem Autor bekannt.

Damit sind hier nur einige, aktuell im Projekt „Neolithischer Brunnen“ aufgeworfener Fragen genannt.

Literaturangaben

[1] Schaar, Dirk (2017): Virtual Reality – Zentraler Bestandteil der Industrie 4.0, URL: https://www.summer-ofengineering.de/virtual-reality-zentralerbestandteil_der_industrie-4-0/ (9.10.2017)

[2] Hüttner, Susann; Reuter, Thomas; Innerhofer, Florian: Zurück in die Steinzeit – Ein „virtueller“ Erfahrungsbericht. In: Bienert, Andreas u. a. (Hrsg.), EVA Berlin 2017, *Staatliche Museen zu Berlin, Berlin 2017, 230–234*

[3] Microsoft (2017): Mixed Reality, URL: https://developer.microsoft.com/de-de/windows/mixed-reality/mixed_reality (10.10.2017).

Alle weiteren Angaben und Quellen sind, falls nicht gesondert aufgeführt, Microsoft

Der Einsatz der virtuellen Realität in der Produktionsplanung

Kunz, A.[1]; Wegener, K.[1]

[1] ETH Zürich, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung

Abstract

Die zunehmende Individualisierung von Produkten erfordert eine immer flexiblere Produktion. Somit spiegelt sich ein hoher Variantenreichtum der Produkte in einer steigenden Komplexität der Produktion. Um unter dem vorhandenen Zeitdruck eine Produktion auslegen zu können, muss vermehrt auf VAR^2-Technologien zugegriffen werden, welche mehr Iterationszyklen für die Produktionsplanung in gleicher oder kürzerer Zeit zulassen. Am Beispiel einer sogenannten „dezentralisierten Produktion“ soll daher ein Ausblick gegeben werden, wie VAR^2-Technologien künftig eine solche digitale Absicherung und Planung unterstützen können.

1 Einleitung

Variantenreiche Produkte und schwankende Nachfragen können vielfach mit bestehenden Produktionsformen nicht mehr wirtschaftlich hergestellt werden [3]. Das hieraus resultierende Optimierungspotential für die wirtschaftliche Fertigung hochindividualisierter Produkte wurde somit auch in dem „Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ des BMBF aufgeführt [5]. Dieses basiert unter anderem auf einer schon vorher geforderten Flexibilisierung der Produktion [8].

Ein Ansatz zur Lösung dieser Probleme ist die sogenannte dezentralisierte Fertigung. Hiermit wird versucht, die schwankenden Marktanforderungen und die Tendenz zu hochindividualisierten Produkten mit der Anforderung nach einer ausbalancierten und deterministischen Produktion zu verknüpfen [4]. Die Grundidee der dezentralisierten Fertigung besteht darin, sehr flexible Produkt- und Materialtransporteinheiten einzusetzen, welche dann einen individuellen und flexiblen Materialfluss erlauben. Löst man die starre Fertigungsstruktur auf, so muss nun auch der Arbeiter darüber informiert werden, welches Teil als nächstes zu verbauen ist. Diese schon aus dem „Supermarkt“-Prinzip bekannte Anforderung wird außerdem dadurch komplexer, falls variantenreiche Produkte gefertigt werden, denen man einerseits weder den momentanen Verbauzustand ansehen kann, noch daraus den

nächsten notwendigen Bearbeitungsschritt ableiten kann. Eine noch höhere Komplexität entsteht, wenn auch die Zuordnung des Produktes zum nächsten Montageschritt in Zeitpunkt und Ort frei wählbar ist.

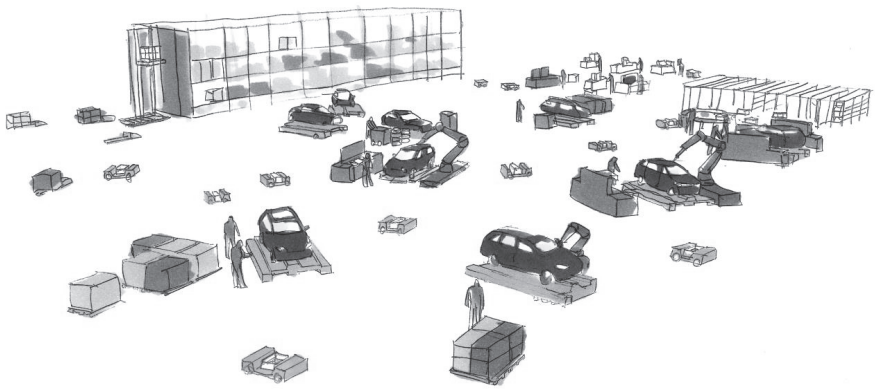


Bild 1: Vision einer dezentralisierten Fertigung [19]

Wie man aus Bild 1 entnehmen kann, wird der Arbeiter sich in einer solchen Umgebung frei bewegen können und zudem künftig auch diese Arbeitsschritte in Zusammenarbeit mit Robotern durchführen (MRK = Mensch-Roboter Kollaboration). Da der Produktionsfluss sich in einer solchen Umgebung dynamisch ändert, ist eine solche hochflexible Fertigung nicht mehr mit üblichen Hilfsmitteln planbar, sondern erfordert das Erleben einer Anlage schon vor deren Realisierung. Hiermit sollen unter anderem die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie kann eine dezentralisierte Produktion unter Einbezug des Menschen im Sinne einer MTM (Method Time Measured) evaluiert werden, oder hierzu die Anlage aufbauen zu müssen?
- Wie kann eine MRK vorab evaluiert werden, ohne hierzu einen MRK-Arbeitsplatz aufbauen zu müssen?

In den folgenden Kapiteln sollen mögliche VAR2-Anwendungen zur Beantwortung dieser beiden Fragen aufgezeigt werden.

2 Absicherung der Produktion durch eine virtuelle MTM

Die MTM blickt auf eine lange Geschichte zurück [10] und ist in der Industrie etabliert. Die manuellen Tätigkeiten eines Arbeiters werden in elementare Elemente

zerlegt, denen wiederum statistisch erfasste Zeiten zugrunde liegen. Hieraus können dann die Kosten für manuelle Tätigkeiten ermittelt werden. Somit kann die MTM verwendet werden, um Arbeitsprozesse zu analysieren, zu beschreiben und abzubilden [1], [2].

Da die MTM auf der Beobachtung der Arbeitstätigkeiten beruht, muss für deren Durchführung ein realer Arbeitsplatz vorhanden sein. Dies führt somit zu Problemen, wenn Produktionslinien komplett neu eingerichtet werden müssen oder Arbeitsplätze neu gestaltet werden. In solchen Fällen wird häufig ein sogenanntes „Cardboard Engineering“ [16] eingesetzt, welches Arbeitsplätze und Distanzen geometrisch nachempfindet (siehe Bild 2).

Bild 2: Typisches Cardboard Engineering [12]

Durch den Einsatz solcher Cardboard-Aufbauten ist nun zwar auch ein realistisches Laufen möglich, jedoch sind hiermit keine hochflexiblen Produktionseinrichtungen wie in Bild 1 darstellbar.

Wenn für die MTM-Erfassung des echten Laufens in Anlagen gemäß Bild 1 die virtuelle Welt eingesetzt werden soll, so bedeutet dies zunächst einmal, dass der zur Verfügung stehende Trackingbereich so groß sein muss wie die zu evaluierende Anlage. Dies ist in der Regel aus technischer Sicht nicht praktikabel, weshalb in einem ersten Ansatz zur Begehung großer virtueller Welten Laufinterfaces (Laufbänder) eingesetzt wurden. Das Laufen auf diesen Interfaces ist allerdings unnatürlich, weshalb diese für ein Laufen zur MTM-Bewertung ungeeignet sind. Stattdessen existiert heute ein sogenanntes „Redirected Walking“ [18]. Da der Anwender ein Headmounted Display (HMD) trägt, bemerkt er nicht, dass diese Technik ihn unmerklich auf einer kreisförmigen Bahn führt, obwohl er glaubt, geradeaus zu laufen. Durch geeignete Auswahl der Redirektionstechniken [17] lassen sich auch größere virtuelle Anlagen in begrenzten physischen Räumen begehen, so dass Redirected Walking geeignet ist, das Laufen unter MTM-Gesichtspunkten zu erfassen [9].

Um die Möglichkeiten der MTM-gerechten Erfassung echten Laufens in einer virtuellen Umgebung zu verifizieren, wurde eine VR-Umgebung gemäß Bild 3 realisiert. Der Aufbau verwendet ein Oculus DK2 HMD, welches zusammen mit einem Intersense IS-1200 Trackingsystem an einen Laptop angeschlossen ist. Der Laptop ist in einem Rucksack untergebracht und erlaubt somit freies Laufen in einem Trackingbereich von 12 x 6 m. Zum Erfassen der relativen Handposition wurde ein einfacher Inertialsensor verwendet [11].

Bild 3: Technischer Aufbau

Um nun eine MTM im virtuellen Raum durchzuführen, sind keine aufwändigen Aufbauten mehr nötig, ebenso entfällt auch eine nachträgliche Videoanalyse. Stattdessen wird eine virtuelle Szene dargestellt, in welcher die typischen Bewegungen für eine Arbeitssituation durchgeführt werden können, einschließlich eines realistischen Laufens in dieser Umgebung. Die Bewegungen des Anwenders werden nicht nur als Position im Raum ausgemessen, sondern auch gleich von einer nachgeschalteten Software analysiert (siehe Bild 4).

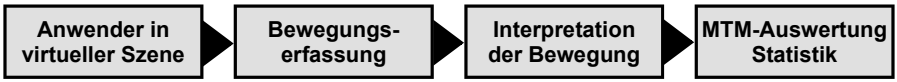


Bild 4: Prinzipdarstellung der virtuellen MTM

Da die Erfassung der Bewegungsabläufe und die Auswertung in Echtzeit stattfinden, können der Aufbau der Arbeitsplätze oder die Konstellation einer Produktionslinie mehrfach variiert werden, ohne dass hierfür zeitraubende Umbauten anfallen.

Zur Interpretation der Tätigkeiten des Anwenders werden Algorithmen des „Machine Learnings“ eingesetzt [13]. In einem ersten Machbarkeitsnachweis wurden zwei Klassifikationen eingesetzt. In einer Klasse kann die Körperhaltung des Anwenders unterschieden werden, also ob er sitzt, steht oder läuft. Die Genauigkeit dieser Klassifizierung wird durch ein zusätzliches „Reasoning“ erhöht, welche die Zuordnung in einer Klasse mit der Geometrie korreliert. So ist z.B. die Klassifizierung „sitzen“ nur möglich, wenn die Szene an der entsprechenden Stelle auch eine Sitzgelegenheit hat. Somit können nicht nur die benötigten Zeiten erfasst werden, son-

dern ebenso auch die korrekte Reihenfolge der einzelnen Aktionen, wie dies in [7] vorgeschlagen wird. Bild 5 gibt einen Eindruck der virtuellen Arbeitsumgebung.

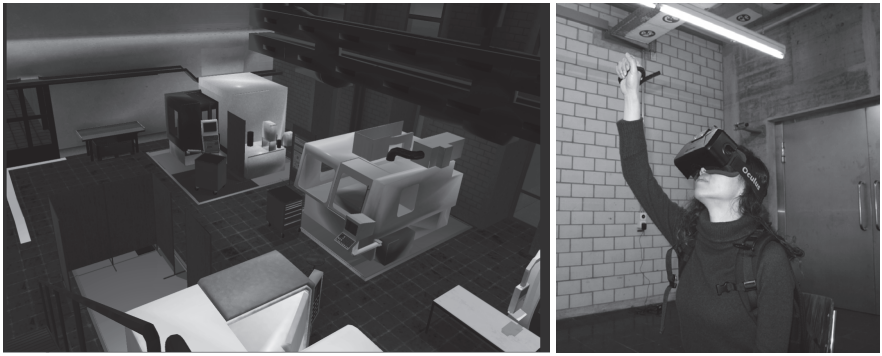


Bild 5: Virtuelle Arbeitsumgebung und typische Anwenderinteraktion

In dieser virtuellen Umgebung mussten an vier Positionen unterschiedliche manuelle Tätigkeiten durchgeführt werden, beispielsweise eine Schraubbewegung oder das Ziehen oder Schieben eines virtuellen Objektes. Zwischen den einzelnen Stationen musste dann jeweils eine Strecke von ca. 3 m zurückgelegt werden. Bild 6 zeigt den jeweils gemessenen Weg der unterschiedlichen Anwender.

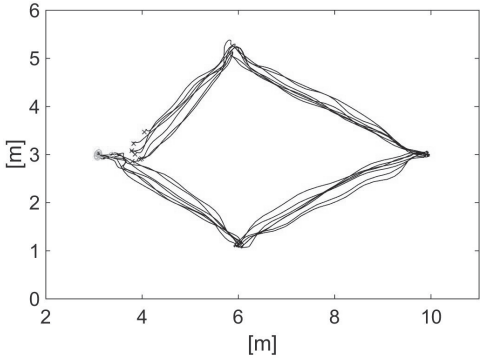


Bild 6: Lauftrajektorien der einzelnen Anwender

Da neben der Position auch jeweils die Zeiten gemessen wurden, lässt sich auch beispielsweise die kumulierte Auflistung für die jeweiligen Tätigkeiten darstellen (siehe Bild 7).

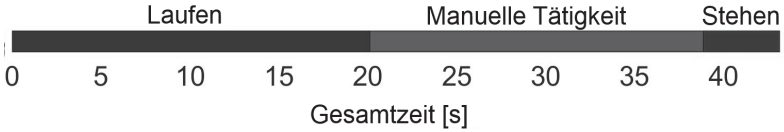


Bild 7: Aufteilung der Gesamtzeit für einen Bearbeitungszyklus in die Gruppen „Laufen“, „Manuelle Tätigkeit“ und „Stehen“

Während die Bereiche „Laufen“ und „Manuelle Tätigkeit“ dem Arbeitsprozess zugeordnet werden können, so verbleibt auch eine Restzeit von 5 s (6% der Gesamtzeit), in welcher der Anwender keine manuelle Tätigkeit durchführt. Diese Zeit wird benötigt für das Erkennen von Objekten sowie für die Orientierung im Raum.

Das hier aufgeführte einfache Anwendungsbeispiel zeigt exemplarisch auf, dass die virtuelle Realität für eine MTM-Analyse von Produktionsanlagen eingesetzt werden kann und gegenüber der konventionellen Art der MTM-Durchführung erhebliche zeitliche Vorteile aufweist.

3 Absicherung der Mensch-Roboter Kollaboration

In der dezentralisierten Fertigung gewinnt die Mensch-Roboter Kollaboration an Bedeutung und wird von Tan et al. [20] als „zukunftsweisend“ bezeichnet. Das Ziel ist, die Kraft und Ausdauer des Roboters mit der Anpassungsfähigkeit und Geschicklichkeit des Menschen zu kombinieren. Hierbei stellt sich aber die Frage, wie (i) der Bewegungsablauf des Menschen und des Roboters für eine optimale Arbeitsplatzgestaltung auszusehen hat, und (ii) wie sich das Verhalten des Menschen in Anwesenheit des Roboters ändert. Insbesondere die zweite Fragestellung eignet sich für eine Untersuchung in der virtuellen Welt.

Erste Ansätze zur Akzeptanzuntersuchung in der Mensch-Roboter Kollaboration wurden von Coupeté et al. [6] aufgezeigt. Allerdings wurde die virtuelle Realität hier lediglich zur Darstellung eingesetzt und die Akzeptanz durch Fragebögen ermittelt. Diese Methode baut auf einer früheren Studie auf, in der durch physiologische Messungen und Fragebögen eine Arbeitsplatzakzeptanz ermittelt wurde [21]. Für das Training des Arbeiters an einem MRK-Arbeitsplatz wurde eine virtuelle Umgebung von Matsas & Vosniakos [14] vorgestellt. Eine weitere physiologische Erfassung des menschlichen Verhaltens wurde von Moniri et al. [15] durchgeführt. Insbesondere wurde hier die Blickrichtung des Anwenders in einem realen MRK-Aufbau mit der in einem virtuellen Aufbau verglichen. Hand- oder Kopfpositionen wurden hingegen nicht vermessen. Die Untersuchungen zeigten aber, dass die virtuelle Welt durchaus in der Lage ist, einen realen MRK-Arbeitsplatz bei vergleichbaren Messergebnissen zu ersetzen.

Um die Frage zu klären, inwieweit die Anwesenheit des Roboters das menschliche Arbeitsverhalten beeinflusst, wurde eine virtuelle MRK-Anwendung erstellt, in der eine Person neben der rein manuellen Interaktion auch in der Lage ist, sich in einem kleinen Arbeitsbereich frei zu bewegen. In dieser virtuellen Umgebung wurde ein vierstufiger Montageprozess einmal komplett manuell und einmal in Arbeitsteilung mit dem Roboter durchgeführt (siehe Bild 8).

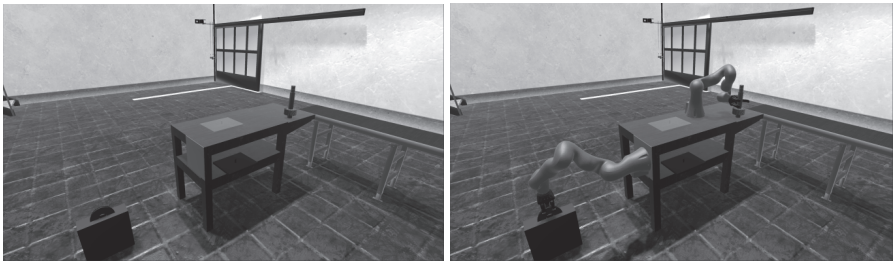


Bild 8: Arbeitsplatz für manuelle (links) und roboterunterstützte (rechts) Montage

Zur Erfassung der Kopf- und Handpositionen wurde ein HTC Vive System eingesetzt. Innerhalb eines Erfassungsbereichs von 4 x 4 m bietet es dem Anwender eine freie Bewegungsmöglichkeit. Die virtuelle Welt wurde auf diesen Aktionsraum zugeschnitten, so dass die Immersion nicht durch die Visualisierung des begrenzten Arbeitsraums (Wandwarner) gestört wurde. In dieser virtuellen Umgebung mussten die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt werden:

1. Platzieren einer Grundplatte auf dem Montageplatz
2. Aufstecken einer Welle mit vormontiertem Zahnrad auf die Grundplatte
3. Aufstecken einer Riemenscheibe auf die Welle
4. Ablegen der gefertigten Baugruppe auf einem Förderband

Alle Teile für die Montage sind im Arbeitsbereich gelagert und müssen entweder vom Anwender oder vom Roboter gegriffen werden. In dem ersten Szenario wurden alle vier Arbeitsschritte vom Anwender durchgeführt, während im zweiten Szenario die Arbeitsschritte 2 und 3 vom Roboter durchgeführt wurden.

Für die beiden Montagesituationen mit und ohne Roboter ist exemplarisch für einen Anwender die Kopftrajektorie dargestellt (Bild 9).

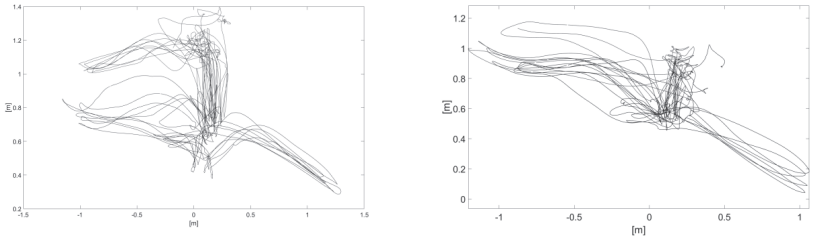


Bild 9: Kopftrajektorien von zwei unterschiedlichen Anwendern

Der im Szenario definierte Arbeitsablauf erfordert es in beiden Fällen, dass der Anwender an den Arbeitsplatz herantritt, um die Grundplatte zu positionieren. Im Falle der manuellen Montage (Arbeitsschritte 2 und 3) bleibt der Anwender am Arbeitsplatz stehen und bewegt sich nur aufgrund des geforderten Arbeitsablaufs, also zum Greifen der Welle und der Riemenscheibe. Eine weitere Bewegung entsteht durch das Ablegen der komplettierten Baugruppe auf dem Förderband.

Durch die Anwesenheit des Roboters wird das Verhalten des Anwenders aber grundlegend geändert, obwohl die Arbeitsschritte 1 und 4 und die damit verbundenen Bewegungen für den Anwender identisch geblieben sind, während die Schritte 2 und 3 vom Roboter übernommen werden. Während der Roboter diese Arbeitsschritte durchführt, tritt der Anwender unbewusst einen Schritt zurück, obwohl dies für den Arbeitsablauf nicht erforderlich wäre. Es ist vielmehr das unbewusste Ausweichen vor der automatisierten Roboterbewegung, obwohl diese gar nicht in dem Arbeitsbereich vor dem Montageplatz hineinführt. Zum Greifen der komplettierten Baugruppe tritt der Anwender wieder einen Schritt nach vorne und legt sie anschließend auf dem Förderband ab.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich Tendenzen erkennen, die darauf hinweisen, dass bei einem MRK-Arbeitsplatz doch nicht die volle Effizienz des menschlichen Anwenders zur Verfügung steht. Der Mensch arbeitet somit nicht völlig unbeeinflusst von der Präsenz des Roboters, so dass hierdurch auch ein erstes Anzeichen für eine psychische Belastung gemäß DIN EN ISO 10075-1:2000 gegeben ist.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurde aufgezeigt, wie VAR^2-Techniken dazu genutzt werden können, bestehende Produktionen zu optimieren oder neue Produktionsformen wie die dezentralisierte Fertigung überhaupt erst planbar zu machen.

VAR^2-Techniken werden in diesem Zusammenhang nicht nur für eine schnelle Visualisierung unterschiedlicher Fabriklayouts verwendet, sondern gerade die Möglichkeit des echten Laufens in diesen virtuellen Welten erlauben neue Ansätze wie

eine virtuell abgebildete MTM oder digitale Voruntersuchungen zu MRK-Arbeitsplätzen.

Das Erleben großer virtueller Welten, wie sie für die MTM und MRK notwendig sind, erfordert einen Raum für reales Laufen, in dem die Position des Anwenders erfasst werden kann. Dies erfordert bislang ein dediziertes und in der Regel fest installiertes System, was die Anwendung dieser neuen Technologie kostspielig macht. Weiterführende Arbeiten werden sich daher mit der Entwicklung und Anwendung neuer Positionsmesssysteme beschäftigen, wie beispielsweise das aus der Robotik bekannte „Simultaneous Localization and Mapping“ (SLAM). Zusammen mit der Integration in Planungssysteme können dann auch große virtuelle Welten in relativ kleinen Räumen begangen werden.

Literaturangaben

[1] Bakranz, R.; Landau, K.: Handbuch Industrial Engineering: Produktivitätsmanagement mit MTM - Konzept. 2012, Vol. 1, 2. Ausgabe

[2] Bakranz, R.; Landau, K.: Handbuch Industrial Engineering: Produktivitätsmanagement mit MTM - Anwendung. 2012, Vol. 2, 2. Ausgabe

[3] Bauernhansl, T.; Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendungen, Technologien und Migration. Springer Verlag, Berlin, 2014

[4] Becker, H.: High Noon in the Automotive Industry. Springer Verlag, Berlin, 2006

[5] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Zukunftsprojekt Industrie 4.0. URL: www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html [30.5.2017]

[6] Coupeté, F.; Weistroffer, V.; Hugues, O.: New Challenges for Human-Robot Collaboration in an Industrial Context: Acceptability and Natural Collaboration. In: Proceedings of the 5th IEEE Workshop Towards a Framework for Joint Action (IEEE RO-MAN), 2016

[7] Jayaram, S.; Jayaram, U.; Wang, Y.; Tirumali, H.; Lyons, K.; Hart, P.: VADE: A Virtual Assembly Design Environment. In: IEEE Computer Graphics and Applications 19(5), 1999, S. 44-50

[8] Krüger, J.; Lien, T. K.; Verl, A.: Cooperation of Humans and machines in Assembly Lines. In: CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2009, Vol. 58, S. 628-646

[9] Kunz, A.; Zank, M.; Fjeld, M.; Nescher, T.: Redirected Walking in Virtual Environments for Factory Planning and Evaluation. In: Proceedings of the 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, 2016, S. 257-262

[10] *Laring, J.; Forsman, M.; Kadefors, R.; Örtengren, R.: MTM-based Ergonomic Workload Analysis. In: International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, Vol. 30, No. 3, S. 135-148*

[11] *Leuenberger, K.; Gassert, R.: Low-power Sensor Module for Long-term Activity Monitoring. In: IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society, 2011, S. 2237-2241*

[12] *Maclean-Fogg: Lean Product Launch Underway. URL: www.macleanfogg.com/lean-product-launch-underway-at-mfcs-saegertown, [11.6.2017]*

[13] *Mannini, A.; Sabatini, A. M.: Machine Learning Methods for Classifying Human Physical Activity from On-body Accelerometers. In: Sensors 10(2), 2010, S. 1154-1175*

[14] *Matsas, E.; Vosniakos, G.-C.: Design of a Virtual Reality Training System for Human-Robot Collaboration in Manufacturing Tasks. In: International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2015, S. 1-15*

[15] *Moniri, M.; Valcarel, F.; Merkel, D.; Sonntag, D.: Human Gaze and Focus-of-Attention in Dual Reality Human-Robot Collaboration. In: Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Environments, 2016, S. 238-241*

[16] *MTM Mediathek: Cardboard Engineering. URL: www.youtube.com/watch?v=xfcwnMLTV3Y, [30.5.2017]*

[17] *Nescher, T.; Huang, Y. Y.; Kunz, A.: Planning Redirection Techniques for Optimal Free Walking Experience Using Model Predictive Control. In: IEEE Symposium on 3D User Interfaces. 2014, S. 111-118*

[18] *Razzaque, S.; Kohn, Z.; Whitton, M.: Redirected Walking. In: Proceedings of Eurographics, 2001, S. 289-294*

[19] *SMART FACE: Smart Micro Factory für Elektrofahrzeuge mit schlanker Produktionsplanung, URL: http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/243-smart-face-smart-micro-factory-fuer-elektrofahrzeuge-mit-schlanker-produktionsplanung/beitrag-smart-face-smart-micro-factory-fuer-elektrofahrzeuge-mit-schlanker-produktionsplanung.html [30.5.2017]*

[20] *Tan, J.; Duan, F.; Zhan, Y.; Watanabe, K.; Kato, R.; Arai, T.: Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing, Design and Development. In: Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009, S. 29-34*

[21] *Weistroffer, V.; Paljic, A.; Callebert, L.; Fuchs, P.: A Methodology to Assess the Acceptability of Human-Robot Collaboration Using Virtual Reality. In: Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST), 2013, S. 39-48*

Audioobjekte zur Hörbarmachung virtueller Welten

Clauß, T.[1]; Bergner, J.[1,2] ; Fiedler, B.[1,2]; Sladeczek, C.[1]; Brix, S.[1]

[1] Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, Ilmenau

[2] Technische Universität Ilmenau, Ilmenau

Abstract

Systeme der Virtuellen Realität zur Simulation von virtuellen Welten sind oftmals nur auf die Unterstützung des visuellen Kanals reduziert. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Virtuelle Umgebungen auch weitere Sinne zu unterstützen. Ein Anwendungsfall ist die akustische, virtuelle Produktentwicklung. Klassische VR-Systeme weisen eine objektbasierte Organisationsstruktur auf. Um den auditiven Wahrnehmungskanal zu bedienen, muss das Audiosystem ebenfalls den objektbasierten Ansatz erfüllen, um sinnvoll an das VR-System gekoppelt werden zu können. Die Kopplung beider Systeme wird im Folgenden vorgestellt. Erste prototypische Implementierungen existieren und können bereits im Virtual Engineering eingesetzt werden. Durch die Verbindung von visueller und akustischer Szene wird der Grad der Immersion gesteigert

1 Motivation

In vielen Bereichen der Produktentwicklung werden bereits VR-Technologien eingesetzt. Ein wesentlicher Anwendungsfall ist die Präsentation von Produkteigenschaften, die sich oftmals auf eine visuelle Darstellung beschränkt [1]. Dem gegenüber steht, dass das akustische Verhalten von Produkten und Systemen in seiner Bedeutung wächst. Derzeit ist die akustische Optimierung von Produkten und Systemen nur auf Basis empirischer Methoden möglich, die den kosten- und zeitaufwändigen Bau von gegenständlichen Prototypen erfordern. Dadurch sind die Möglichkeiten zur Beeinflussung von strukturellen Parametern sehr gering.

Methoden und Werkzeuge, die im Produktentwicklungsprozess eine möglichst frühe Überprüfung, Bewertung und Optimierung des Höreindrucks auf Basis virtueller Prototypen ermöglichen, sind von großem Vorteil. Dies erfordert eine Erweiterung der bestehenden VR-Systemstrukturen, so dass akustische Parameter sinnvoll abgebildet und eingebunden werden können. Darüber hinaus sind die Möglichkeiten zur akustischen Wiedergabe in der Regel sehr beschränkt. Insbesondere sind

Wiedergabeverfahren nicht echtzeitfähig oder in der Lage die räumliche Schallverteilung von Produkten realitätsnah abzubilden.

Die Einbeziehung realistischer Akustik in die VR birgt erhebliches Zukunftspotential, da durch die akustische Darstellung von Produkteigenschaften – synchron zur visuellen Präsentation – die Wahrnehmung bei der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) wesentlich erweitert werden kann [2].

Das Paper behandelt diese Thematik und stellt ein neues Konzept vor, wie VR-Systeme um eine naturgetreue Tonwiedergabe erweitert werden können, so dass sie Anwendung in der virtuellen Produktentwicklung finden.

2 Objektbasierte Tonwiedergabe

2.1 Konzept

Konventionelle, räumliche Tonwiedergabeverfahren wie Stereo oder Surround Sound basieren auf dem kanalbasierten Ansatz. Hierbei werden als Resultat einer Tonmischung fertig gemischte Lautsprechersignale auf dem Tonträger gespeichert, die im Anschluss nur noch abgespielt werden. Die Positionierung einer Schallquelle (auch Phantomschallquelle genannt) im Stereopanorama wird durch den Toningenieur durch eine Lautstärkegewichtung der Lautsprecher bestimmt. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist, dass die Lokalisation der Schallquellen nur für eine Hörposition korrekt ist. Diese wird Sweet Spot genannt. Um die Schallquellen einer zuvor gemischten Tonszene im Wiedergabesetup an den gleichen Positionen erklingen zu lassen, ist es notwendig, dass die Lautsprecher an den exakt gleichen Positionen wieder installiert werden. Gerade für die praktische Umsetzbarkeit in realen Anwendungen ist dies ein entschiedener Nachteil, der besonders durch die Steigerung von Lautsprecherkanälen in aktuellen kanalbasierten Standards große Komplexität bringt.

Ein Tonwiedergabekonzept, welches einen anderen Ansatz verfolgt, ist die objektbasierte Wiedergabe. Der fundamentale Unterschied ist hier, dass keine Lautsprechersignale mehr gespeichert werden. Im Gegensatz zum kanalbasierten Ansatz erfolgt die Speicherung von Audioobjekten [3]. Ein Audioobjekt wird hierbei durch ein Audiosignal wie z.B. eine Gitarre, eine Stimme oder Ähnlichem definiert, sowie durch einen zugehörigen Metadatensatz. Die Metadaten enthalten dabei Informationen wie Position, Lautstärke und weitere Eigenschaften des Audioobjekts.

2.2 Audio Rendering

Die Erzeugung von Audiosignalen aus einer Beschreibung von Audioobjekten wird als Audio Rendering bezeichnet. Im Gegensatz zum kanalbasierten Ansatz muss

dieser Prozess interaktiv, in Echtzeit erfolgen. Eine schematische Darstellung findet sich in Bild 1.

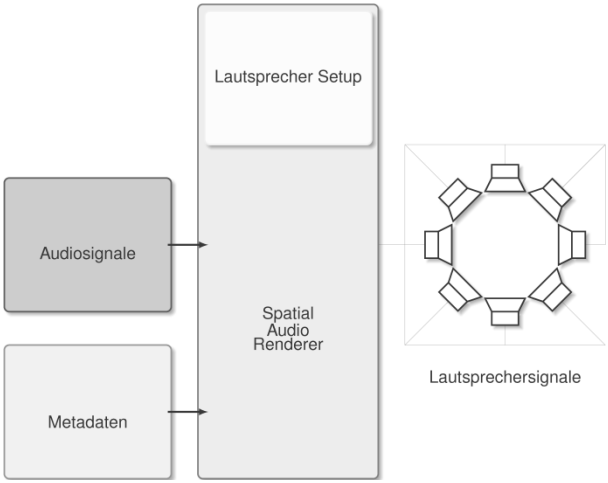


Bild 1: Konzept der objektbasierten Tonwiedergabe. Ein Audiorenderer (Spatial Audio Renderer) berechnet durch die Kenntnis des Lautsprechersetups die Lautsprechersignale in Echtzeit. Hierfür benötigt er sowohl die Metadaten (z.B.: Positionen) der Audioobjekte als auch die Audioeingangssignale.

Der Spatial Audio Renderer berechnet die Lautsprechersignale aus Kenntnis der Lautsprecherpositionen (Lautsprecher-Setup) sowie der Audioobjektinformationen, definiert durch Audiosignale und Metadaten. Zur Berechnung der Lautsprechersignale sind verschiedene Algorithmen denkbar. Ein Tonwiedergabeverfahren welches sich besonders für mehrere Benutzer gleichzeitig eignet, ist das Verfahren der Wellenfeldsynthese [4]. Basierend auf einem physikalischen Modell werden Einzellautsprechersignale so berechnet, dass deren Überlagerung im Luftschall das physikalisch korrekte Schallfeld einer virtuellen Quelle ergibt. Dafür muss der Hörort mit einem Array von Lautsprechern umgeben sein.

Neben der Lautsprecherwiedergabe ist es in bestimmten Anwendungsfällen notwendig, die Audioszene mit Kopfhörern wiederzugeben. Um eine realistische räumliche Klangwahrnehmung mit Kopfhörern realisieren zu können, müssen zahlreiche Aspekte der Übertragungsstrecke zwischen Schallquelle und Ohren berücksichtigt werden. So führt ein komplexes Zusammenspiel von Oberkörper, Kopfform und Gehör zu Laufzeit- und Pegelunterschieden zwischen beiden Ohrsignalen. Diese richtungs-, distanz- und frequenzabhängige Filterwirkung wird durch sogenannte „kopfbezogene Übertragungsfunktionen“ (engl. head related transfer function HRTF) mathematisch beschrieben [5]. Durch die Anwendung eines zuvor bestimmen HRTF-Datensatzes auf ein Audiosignal, kann der Übertragungsweg zwischen

Schallquelle und Ohr simuliert werden. Dies wird Binauralsynthese genannt [6]. Liegt ein umfangreicher Datensatz für unterschiedliche Positionen vor, kann der Spatial Audio Renderer Audioobjekte für eine Kopfhörerwiedergabe aufbereiten.

3 Audioobjekte im Virtual Engineering

3.1 Anforderungen

Die objektbasierte Repräsentation einer akustischen Szene bietet flexible Anwendung in VR-Systemen [7]. Da die Organisation eines VR-Systems typischer Weise auf einer hierarchischen Baumstruktur basiert, gilt zunächst zu klären, welche Attribute für die Speicherung einer akustischen Szene benötigt werden. Elementarattribute – sie sind nur abhängig vom Audioobjekt selbst – sind zunächst:

- Position
- Lautstärke

Für die Angabe der Position kann eine beliebige Koordinatenrepräsentation verwendet werden. Objektbasierte Tonwiedergabesystem basieren oftmals nur auf der Angabe einer absoluten Koordinate, die sich typischerweise auf einen Ursprung an der idealen Hörposition mittig im Lautsprechersystem bezieht. Je nach verwendetem Koordinatensystem im VR-System sind eine Achsentransformation sowie eine Transformation von lokalen nach globalen Koordinaten notwendig. Die Lautstärke stellt ein interaktives Attribut dar, welches sich zum Beispiel dynamisch ändern sollte, wenn eine Quelle sich vom Hörer entfernt. Dies repräsentiert den abstandsabhängigen Lautstärkeverlust.

Darüber hinaus existieren weitere physikalische Attribute, welche die Wahrnehmung einer Schallquelle deutlich beeinflussen. Diese sind u.a.:

- Richtcharakteristik
- Raumakustik

Die Richtcharakteristik einer Schallquelle beschreibt mit welcher Intensität eine Quelle die Schallenergie in unterschiedliche Raumrichtungen abstrahlt. Ein gutes Beispiel ist ein Blasinstrument wie eine Trompete, die einen deutlich höheren Schalldruck für eine Hörposition vor dem Trichter, als neben dem Instrument stehend erzeugt [8]. Da diese Abstrahlung frequenzabhängig ist, hat diese Eigenschaft nicht nur Einfluss auf die wahrgenommene Lautstärke sondern entscheidet maßgeblich über den Klang der Quelle. Während das bei einem Musikinstrument im Wesentlichen die Klangfarbe beeinflusst, kann es bei technischen Schallen darüber entscheiden, ob ein Geräusch als störend oder wohlklingen empfunden wird. In der virtuellen akustischen Produktentwicklung versucht man heute schon diese

Schallabstrahlung numerisch vorauszuberechnen. Anhand von Farbdarstellungen können dann Baukomponenten identifiziert werden, die für einen hohen oder niedrigen Schalldruckpegel verantwortlich sind. Ein wesentliches Problem dieser visuellen Darstellung von akustischen Eigenschaften liegt darin, dass sie keine Aussage treffen können, ob das visualisierte Geräusch als bspw. als Wohlklang oder störend empfunden wird. Genau diese Erkenntnisse sind aber notwendig wenn es um die qualitative Bewertung der Schallabstrahlung geht, also um Begriffe wie Lärm, Sound Design oder Audio Branding. Soll das Wiedergabesystem eine reale Abbildung der virtuellen Schallquelle schaffen, muss es in der Lage sein diese Eigenschaften wiederzugeben. Das setzt zunächst voraus, dass auch im Szenen-Beschreibungsformat eine sinnvolle Darstellung gefunden werden kann.

Das zweite Attribut beschreibt die akustische Umgebung in der sich eine Schallquelle befindet. Wenn eine Quelle Schall in die Luft abstrahlt, so wird dieser Schall an Hindernissen reflektiert, gebeugt und absorbiert. In der Realität setzt sich das Gehörte immer aus direktem Schall und Schallreflexionen der akustischen Umgebung zusammen. Für eine realistische, akustische VR-Umgebung ist es also notwendig, immer das direkte Schallsignal sowie die Raumakustik abbilden zu können.

Beide Anforderungen stellen sich auch dem Szenenbeschreibungsformat.

3.2 Technische Umsetzung

Zur Integration der beschriebenen objektbasierten Audiowiedergabe in eine bestehende visuelle VR-Umgebung müssen die Szenenbeschreibungen zwischen den Systemen ausgetauscht werden. Bild 2 zeigt die am Fraunhofer IDMT entwickelte Beschreibung zur Charakterisierung eines Audioobjekts auf der Seite des visuellen VR-Systems. Jedes Audioobjekt ist durch einen eindeutigen Namen beschrieben, ergänzt durch eine Positions- und eine Orientierungsangabe. Mit dem eindeutigen Namen wird auf ein Schallquellmodell referenziert, das letztendlich den Klang des Objektes bestimmt. Das Attribut „gainDb“ beschreibt die Lautstärke die typischerweise in Dezibel angegeben wird. Je nach Komplexität der virtuellen Szene ist es möglich, dass auch die akustische Beschreibung aus hunderten von Objekten besteht. Da auch in der Realität nur Schallquellen hörbar sind, die einen gewissen Grundpegel am Hörort erzeugen, kann über das Attribute „active“ die Audioobjekte einer Szene gesteuert werden. So kann beispielsweise ein distanzabhängiges Modell entscheiden, ob eine Schallquelle hörbar ist oder nicht. Da die Anzahl der parallel erzeugbaren virtuellen Schallquellen jedes Wiedergabesystems begrenzt sind, stellt dies einen effizienten Weg dar, die verfügbaren Audioobjekte zu verwalten.

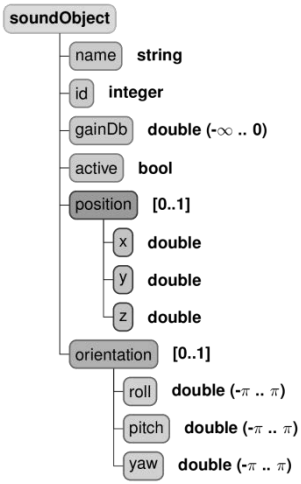


Bild 2: Beschreibung eines Audioobjekts als hierarchische Baumstruktur

Zur Beschreibung einer virtuellen akustischen Szene findet die in Bild 3 dargestellte Struktur Anwendung.

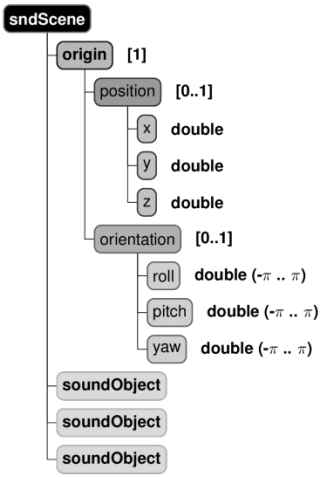


Bild 3: Beschreibung einer akustischen Szene als hierarchische Baumstruktur.

Es gibt zwei wesentliche Elemente: zum einen die Beschreibung des Beobachtungspunktes (origin), der durch eine Position im Raum und einer Orientierung

definiert ist. Darüber hinaus besteht die Audioszene aus den Audioobjekten selbst (soundObject).

Um die deutlich komplexeren Anforderungen an die Audioobjekte auf der Seite des Spatial Audio Renderings abbilden zu können, erfolgt hier eine wesentlich detailliertere Beschreibung [9]. Eine Schallquelle, die in der Visualisierungssoftware beispielsweise „Fahrzeug“ genannt wird, kann aufseiten des Audiorenderings aus vielen Audioobjekten bestehen, die z.B.: unterschiedliche Aggregate oder Teile des Fahrzeugs akustisch repräsentieren. Zur Wiedergabe einer richtungsabhängigen Schallabstrahlung kann zum Beispiel das Verfahren der Monopolsynthese verwendet werden, wobei die Schallabstrahlung einer Schallquelle durch eine Vielzahl von Elementarstrahlern modelliert wird [10]. Auch für eine raumakustische Simulation existieren verschiedene Verfahren, die basierend auf Elementarstrahlern, das komplexe Schallfeld repräsentieren [11]. Um diese Struktur abbilden zu können, wird die in Bild 4 verwendete Struktur verwendet.

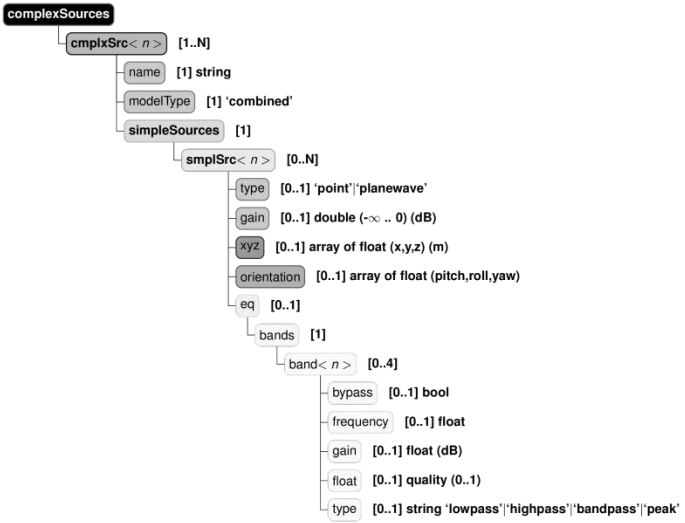


Bild 4: Beschreibung einer komplexen Schallquelle (complexSources), die aus mehreren Einzelschallquellen (simpleSources) besteht als hierarchische Baumstruktur.

Zur Verarbeitung sowohl der Szenenbeschreibung als auch der Schallquellbeschreibung wurde am Fraunhofer IDMT der *Acoustic Scene Interpreter* (ASI) entwickelt. Der ASI fungiert dabei als Zwischeninstanz zwischen der visuellen und akustischen virtuellen Umgebung und ermöglicht somit den Austausch von Meta- und Beschreibungsdaten. Der Vorteil dieses eigenständigen Interpreters ist, dass möglichst universell eine beliebige Visualisierungssoftware an das objektbasierte Audio-

rendering angekoppelt werden kann. Im Zuge von zwei öffentlich gefördert Forschungsprojekten konnte das Fraunhofer IDMT in Zusammenarbeit mit Industriepartnern die Schnittstelle mit den beiden Softwares „Visionary Render“ (Virtalis) und „Interviews3D“ (3DIinteractive) erfolgreich testen.

3.3 Anwendung

Eine exemplarische Anwendung der oben beschriebenen Technologie ist die virtuelle Darstellung eines Automobils in verschiedenen Umgebungen. Mit der Software „VisionaryRender“ sind für ein Fahrzeug verschiedene Umgebungen simuliert. Dafür ist ein 3D Modell eines Audi Q7 verwendet, da dieses Fahrzeug als reales Demonstratorfahrzeug dem Fraunhofer IDMT zur Verfügung steht. Bild 5 zeigt den Audi Q7 mit den visualisierten Umgebungsbedingungen. In der ersten Abbildung ist das Fahrzeug auf einer Freifläche zu sehen, gefolgt von einem öffentlichen Platz sowie in einer Garage.

Bild 5: Darstellung eines Fahrzeugs in einem VR-System in unterschiedlichen Umgebungen.

Um das akustische Verhalten des Fahrzeugs virtuell abbilden zu können, wurde in der ersten Anwendung mit realen Schallaufnahmen gearbeitet. Dabei wurde das Fahrzeug auf einem weitläufigen Parkplatz von einer ringförmigen Anordnung von Mikrofonen umrandet. Hierzu wurden 12 Mikrofone verwendet. Anschließen wurden verschiedene akustische Zustände des Fahrzeugs, welche im Stand abgebildet werden konnten, aufgenommen. Dazu zählten Start/Stop des Motors, Auf-und Zuschlagen der Fahrertür, Hoch-und Runterfahrt des Fahrerfensters sowie ein Motorhochlauf. Diese akustischen Daten sind anschließend in einer objektbasierten Produktionsoberfläche so angeordnet, wie sie zuvor aufgenommen wurden. Dies zeigt Bild 6.

Hier sind auf der rechten Seite der Produktionsoberfläche 12 Audioobjekte im Kreis angeordnet. Die Positionen der virtuellen Schallquellen werden dabei vollständig automatisiert über das in Abschnitt 3.2 beschriebene Interface von der Visualisierungssoftware gesteuert. Interagiert der Nutzer nun in der virtuellen Szene (z.B. Bewegung, Drehung etc.), so ändert sich adäquat zur visuellen Perspektive auch der akustische Eindruck. Die sich in der Szene befindlichen Audioobjekte werden relativ zum Nutzer neu berechnet und positioniert.

Werden die drei unterschiedlichen Umgebungen nun umgeschaltet, sind in der Technologiedemonstration verschiedene Aspekte der Hörbarmachung zu erleben. In der Freifeldsituation wird der Einfluss der Richtcharakteristik dargestellt. Wählt der Nutzer im Menü „Free Field“ so wird das Fahrzeug als Punktschallquelle auralisiert. Bewegt sich der Nutzer nun um das Fahrzeug, so verhält sich das Audioobjekt in alle Richtungen gleich. Wählt der Nutzer im Menü „Directivity“, so ist für ihn eine deutlich andere Klangwahrnehmung präsent, je nach Position. Befindet sich der Nutzer z.B.: vor dem Fahrzeug sind maßgeblich Geräusche des Motors hörbar, bewegt er sich hinter das Fahrzeug sind Geräusche des Abgasstrangs viel präsenter.

Wählt der Nutzer im Menü „Environment“, so bleiben alle Geräusche des Fahrzeugs erhalten. Zusätzlich erfolgt hier die Wiedergabe typischer städtischer Umgebungsgeräusche, die aus Simulation und Aufnahme entstanden sind. Für den Nutzer ist so die Interaktion der Geräusche miteinander erfahrbar. Hier wird beispielsweise gezeigt wie das Audiosignal einer heranfahrenden Straßenbahn das eigentliche Geräusch des Fahrzeugs maskiert. Verwendet man die Technologie so im Entwicklungsprozess, so kann das akustische Verhalten in typischen Produktsituationen evaluiert werden.

Im letzten Menüpunkt „Room Acoustics“ wird das akustische Verhalten des Fahrzeugs in einer hallenden Tiefgarage demonstriert. Hier kann sehr schön verdeutlicht werden, wie stark der Einfluss der Raumakustik auf das Schallquellensignal ist.

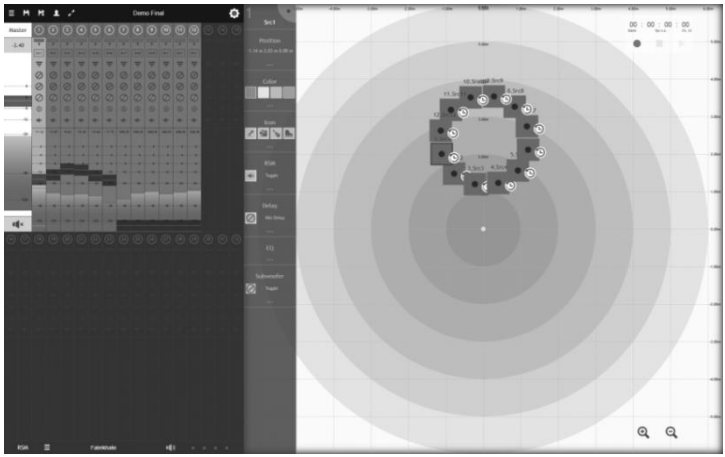


Bild 6: Bei der Darstellung der Audioobjekte befindet sich der Hörer immer in der Mitte der Szene (rechte Bildhälfte). Interagiert er nun in der Virtuellen Realität, so ändern sich relativ zum eigenen Standpunkt Position und Orientierung der Audioobjekte.

Die hier beschriebene Anwendung stellt die Möglichkeiten zur Ankopplung objektbasierter Audiowiedergabe an VR-Systeme exemplarisch dar. Sowohl Audiosignale

unterschiedlichen Ursprungs (Simulation oder Aufnahme) als auch verschiedene Wiedergabearten (Wellenfeld- oder Binauralsynthese) lassen sich technisch umsetzen. Die Verbindung von Visualisierung und Auralisierung erhöht die Immersion bei der Interaktion und Wahrnehmung des VR-System um ein Vielfaches. Dies schafft sowohl bei der Gestaltung von Entertainmentinhalten als auch für das Virtual Engineering neue Möglichkeiten und Maßstäbe. Aktuelle Evaluierungsarbeiten behandeln den Einfluss objektbasierter Audiowiedergabe auf das Erleben in der Virtuellen Realität. In Kürze ist mit ersten Ergebnissen zu rechnen.

4 Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Forschungsprojekt „*AVP³ – Akustisch erweiterte Virtualisierung von Produkten und Produktionsprozessen“* gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWI), sowie durch das Forschungsprojekt „*Vista4F – Virtuelle Straße – Virtuelle Realität in 4F: Funk, Fahrbahn, Fahrzeug und Fahrer“ gefördert durch das Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft (TMWWDG).*

Literaturangaben

[1] *Ovtcharova, J.: Virtual Engineering – Virtuelle Produktentstehung, Springer, Berlin, 2016*

[2] *Husung, S: Simulation akustischer Produkteigenschaften unter Nutzung der Virtual Reality während der Produktentwicklung, Dissertation, Technische Universität Ilmenau, 2012*

[3] *Lembke, S.; Sladeczek, C.;Richter, F.; Heinl, T.; Fischer, C.; Degardin, P.: Experimenting with an Object-Based Sound Reproduction System for Professional Music Production, In: Proceedings of Tonmeistertagung 2014, Köln*

[4] *Verheijen, E.: Sound Reproduction by Wave Field Synthesis, Dissertation, Technical University Delft, 1997*

[5] *Blauert, J.: Spatial Hearing, Revised Edition, MIT Press, 2001*

[6] *Algazi R.; Duda, R.: Headphone-Based Spatial Sound, IEEE Signal Processing Magazine, Volume 28, Issue 1, pp: 33-42, Dezember 2010*

[7] *Springer, J.P.; Sladeczek, C.; Scheffler, M.; Hochstrate, J.; Melchior, F.; Fröhlich, B.: Combining Wave Filed Synthesis and Multi-Viewer Stereo Displays, In: Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference VR 2006, pp. 237-240, DOI: http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/VR.2006.33*

[8] Meyer,J.: Akustik und Musikalische Aufführungspraxis: Leitfaden für Akustiker, Tonmeister, Musiker, Instrumentenbauer und Architekten, 4. Auflage, PPV Medien GmbH, 1999

[9] Bergner, J.; Clauß, T.; Zhykhar, A.; Sladeczek, C.; Brix, S.: Application of Wave Field Synthesis in Virtual Acoustic Engineering, In: International Congress on Noise Engineering INTERNOISE 2017, Hamburg

[10] Giron, F.: Investigations about the Directivity of Sound Sources, Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1996

[11] Melchior, F.: Spatial Sound Design Based on Measured Room Impulse Responses, Dissertation, Technical University Delft, 2011

Digitaler KVP mit virtuellen Technologien - Montage- und Logistikprozesse frühzeitig erproben

Wolff, D.[1]; Bierwirth, D.[1]

[1] inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH

Abstract

Getrieben durch die Entwicklungen in der Unterhaltungsindustrie erleben die Technologien der virtuellen und erweiterten Realität eine Renaissance in der Industrie. Insbesondere im Bereich interaktiver VR-Workshops ergeben sich heute schon viele positive Effekte. Der Artikel beschreibt diese Potenziale und zeigt Herausforderungen auf, die für eine breitere Nutzung dieser Technologie noch zu lösen sind.

1 Einleitung

Veränderungen auf den globalen Märkten, die damit verbundenen politischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten sowie die durch neue Produktkonzepte sich ändernden Anforderungen an die Fertigung stellen die Produktionsplanung und -organisation vor neue Herausforderungen. Die klassische Digitale Fabrik mit ihren Simulationsmethoden und Werkzeugen entwickelt sich entsprechend dieser Herausforderungen weiter und Technologien der virtuellen und erweiterten Realität (VR/AR) erleben zur Zeit eine Renaissance im industriellen Umfeld. Vor allem die Entwicklungen im Endverbrauchermarkt und speziell in der Unterhaltungsindustrie, welche zunehmend leistungsfähigere und günstigere Endgeräte und Technologieplattformen hervorbringt, dienen dabei als Impulsgeber. Der Einsatz dieser Technologien im industriellen Umfeld ermöglicht die Ablösung von kostenintensiven, immobilen Cave-Installationen und den vereinfachten Zugang für unterschiedliche Anwendergruppen durch leichtgewichtige und innovative Bedienkonzepte.

In den Modellierungs- und Simulationsportfolios industrieller Unternehmen, die unter dem Begriff „Digitale Fabrik“ zusammengefasst werden, erhalten die Themen „Usability“ und „User Experience“ bezogen auf die entsprechenden Softwaresysteme einen immer höheren Stellenwert. Daten, Modelle und IT-Systeme sollen intuitiv bedienbar und die darin erzeugten Modelle auch durch ungeschulte Anwender

leichter nutzbar werden. Heutige Simulationssysteme sind jedoch oft Expertensysteme, die einem qualifizierten und damit eingeschränkten Nutzerkreis zugänglich sind und deren Bedienung zeit- und kostenintensive Schulungen und Spezialwissen erfordert.

Gleichzeitig steigt die Bedeutung der menschgerechten Produktion, denn Demographie, die Verschiebung von Arbeitsinhalten und Qualifikationsprofilen sowie teils standortabhängige Anlagenkonzepte führen zusammen mit der heutigen Variantenvielfalt in der Produktion zu einer Unverzichtbarkeit des menschlichen Arbeiters, deren Arbeitsprozesse jedoch stärker als bisher auf das Individuum zugeschnitten werden müssen.

Schließlich ist die beständige Effizienzsteigerung in der Planung eine kontinuierliche Herausforderung, um Planungskosten zu sparen und den Planungsprozess zu beschleunigen.

2 Lösungsansatz VR

Vor dem oben beschriebenen Hintergrund können Technologien der VR und AR Hilfestellung leisten, um die aufwändig erzeugten, als hoch werthaltige „intangible assets“ anzusehenden PLM-Daten und -Modelle der Unternehmen intuitiv, immersiv und interaktiv bereitzustellen. Das Konzept der VR ermöglicht dem Anwender die Wahrnehmung der (geplanten) Produktionswirklichkeit und ihrer physikalischen Eigenschaften in einer computergenerierten, interaktiven virtuellen Umgebung.

Die Ziele des-Einsatzes von VR im digitalen Planungsprozess sind i. w. in drei Feldern zu suchen:

- VR erweitert die die kognitive Mensch-Maschine-Kommunikation (User Experience) und kann so helfen, Zugänglichkeit und Kommunikationsfähigkeit zu den Planungsergebnissen zu erhöhen.
- VR ermöglicht den Einbezug von Nicht-Simulationsexperten und insbesondere Stakeholder aus der Fertigung können dadurch in die Planung und Arbeitsvorbereitung eingebunden werden. Zudem ergeben sich neue Unterstützungsmöglichkeiten für kontinuierliche Verbesserungsprozesse und den verbesserten Einbezug des Wissens aller Stakeholder.
- Der Einsatz von VR verbessert Kollaborationsprozesse an den Schnittstellen zwischen Design, Technischer Entwicklung, Produktionsplanung und Produktion und ermöglicht so durch kürzere und häufigere Iterationen eine schnellere, kürzere und kosteneffektivere Planung.

Die Herausforderungen bei der planerischen Auslegung und Erprobung, insbesondere manueller Arbeitsprozesse, führen aktuell vor allem zu einem Einsatz von interaktiven VR-Workshops in den Gewerken Logistik und Montage. Eine Erpro-

bung neuer Arbeitsprozesse, wie z. B. in der Kommissionierung oder der Bauteilzuführung an der Montagelinie, erfordert freie Flächen sowie Bauteil- und Behälterprototypen, die aufwändig in Einzelfertigung erstellt werden müssen. Die physische Existenz der Prototypen erzwingt die Anwesenheit des Personals am Erprobungsort und ein determiniertes, begrenztes Zeitfenster für die Prozesserprobung. Schulungs- und Trainingsprogramme mit manuellen Anteilen können so erst mit Vorhandensein der Prototypen starten.

Die Anwendungsfälle für VR-Workshops in Montage und Logistik sind vielfältig und reichen von der Zugänglichkeitsbetrachtung, der Erreichbarkeits- und Sichtbarkeitsanalyse über die Erprobung von Arbeitsabläufen bei Einbauuntersuchungen oder bei Abgriff- und Kommissionierprozessen, bis hin zur qualitativ-vergleichenden Abschätzungen von Laufwegen, Zeiten und Ergonomie. Abweichungen des Nutzers vom nominalen, geplanten Arbeitsablauf können dabei synchron digital erfasst werden, um direkt in die Ursachenanalyse und -behebung einzusteigen.

Für die Nutzung interaktiver VR-Prozessmodelle wird der „physische Prozessprototyp“ digital nachgebildet und in einen virtuellen, interaktiv und immersiv erlebbaren Prozessprototypen überführt. Dieser kann dazu dienen, Verbesserungen am virtuellen Modell vorzunehmen und zu testen. Durch den digital gestützten KVP können positive Effekte erzielt werden wie z. B.:

- Beschleunigte Entscheidungen durch erleichtertes Verständnis und einfachere Kommunikation der Planungsmodelle, durch Berücksichtigung eines realitätsnahen physikalischen Verhaltens von Planungsobjekten (Bauteil/Werkzeug/Anlage) und durch den Einbezug des umgebenden Produktionskontexts, bspw. durch Visualisierung der Hallenumgebung usw.;
- interdisziplinäre, gewerke- und ortsübergreifende Zusammenarbeit durch parallele Kollaboration mehrerer Teilnehmer und dadurch, reduzierte Reise und Transferkosten;
- gesteigerte Erprobungsqualität durch immersive Erfahrung, unter Einbezug der sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen;
- spielerisches Erleben des Prozesses und höhere Motivation durch „Gamification“ und damit erleichtere Freisetzung der Kreativität der Mitarbeiter;
- parallelisierte, „agilisierte“ Arbeitsweise durch wiederholbare und modularisierte Workshops;
- Berücksichtigung individueller und gruppenspezifischer Unterschiede (die Stichprobe ersetzt das „Perzentil“)
- einfache Konfiguration und „on-the-fly“ Anpassung des VR-Modells;
- Attraktivität der Arbeitsinhalte für kommende Generationen;

- abstrahierte Visualisierung von „non tangible production assets“, wie bspw. von Ablaufplänen, Steuerungsprogrammen oder von Betriebs- und Umgebungsdaten;
- direkte Erfassung von Feedback anhand des Modells, erleichterte digitale Dokumentation in Echtzeit und neue Dokumentationsformen (dynamisch, multimedial und in 3D).

3 Herausforderungen und Erfolgsfaktoren

Um die oben beschriebenen Nutzeneffekte umzusetzen, ist eine aufwandsarme, möglichst automatische Generierung der VR-Modelle erforderlich. Aktuell behindert der Aufwand zur Modellierung und manuellen Datenvorverarbeitung den produktiven und wirtschaftlichen Einsatz für einige potentialträchtige Anwendungsfälle. Die Gründe liegen zum einen in der Verfügbarkeit geeigneter CAD-Schnittstellen. Zum anderen fehlen automatisierte und strukturierte Datenaufbereitungs- und Datenvorverarbeitungsprozesse für die VR-Befähigung der CAD-Daten für die performante Darstellung auf dem jeweiligen Endgerät. Des Weiteren kann, abhängig vom Anwendungsfall, eine Kombination der 3D-Daten mit Informationen aus weiteren Planungssystemen notwendig sein. Hinsichtlich der technologischen Reife der der VR-Hardware besteht aus industrieller Sicht weiterer Bedarf nach einer gesteigerten Leistungsfähigkeit und Mobilisierung der VR-Systeme sowie nach der Bedienung unterschiedlicher Visualisierungsplattformen. Schließlich muss eine Anpassung der Modelle orientiert am Anwendungsfall vorgenommen werden. Insbesondere um die Datenaufbereitungs- und Datenvorverarbeitungsprozesse entwickelt sich ein neues Geschäftsfeld für spezialisierte Dienstleister.

Abschließend lassen sich die Erfolgsfaktoren beim Einsatz interaktiver VR-Modelle in folgenden Thesen zusammenfassen:

- Digitale Inhalte: Wie der Vergleich mit der Medien- und Spieleindustrie zeigt, besteht ein strategischer Vorteil in CAD- bzw. PDM/PLM-befähigten Unternehmen im Vorhandensein digitaler Konstruktions- und Entwicklungsdaten.
- Kurzer Ladezyklus: Insbesondere dynamische Änderungen in den Quelldaten erfordern, dass CAD-Datenvorverarbeitung einfach und (semi-)automatisiert abläuft. Der akzeptable Zeitraum für die Datenkonvertierung orientiert sich dabei am Nutzungsprozess (on-the-fly oder overnight).
- Performanz: Die VR-Modelle müssen flüssig und unter Beachtung ergonomischer Gestaltungsprinzipien laufen.
- Interaktion: Das wesentliche Akzeptanz- und etwaiges K.O.-Kriterium der VR-Anwendung ist die Intuitivität. Anwender müssen sich initial im Modell zurechtfinden, ohne Menüs zu erlernen oder umfangreiche Texte studieren zu müs-

sen. Visualisierung und Interaktion müssen sich am Anwendungsfall orientieren, um den Nutzer bei der Lösung seiner Interaktionsaufgabe optimal zu unterstützen. Domänen-Knowhow ist eine sehr hilfreiche Voraussetzung für die Erstellung der Modelle.

- Geschäftsfall und Geschäftsprozess: Der zielgerichtete Einsatz von VR-Workshops im Unternehmen beginnt mit der Problemidentifikation und der Ermittlung des geeigneten Business Case. Wofür, wann und mit wem interaktive VR-Workshops ausgeführt werden, hat entscheidenden Einfluss auf die weitere Ausgestaltung der Anwendung und deren Verankerung im Prozess. Dazu gehört auch ein konsequentes Management der Erwartungen an die VR-Simulation. Letztendlich erbringt VR dann als entscheidungsunterstützendes Werkzeug nur dann einen Beitrag, wenn die zu entscheidenden Aspekte darin auch nachgebildet und beantwortet werden können.

HoloLens und smarte 3D-Sensorik

Hahne, U.[1]; Jansson, I.[2]; Falk, J.[2]; Hampf, M.[3]

[1] SICK AG – GBC09, 3D Compact Systems, Waldkirch
[2] SICK IVP AB, Linköping
[3] SICK AG – CD Research & Development, Waldkirch

Abstract

Die Integration smarter 3D Sensorik im industriellen Umfeld birgt mehrere Herausforderungen. Zum einen die Datenvisualisierung: die erfassten 3D Daten müssen dem Nutzer so visualisiert werden, dass es ihm möglich ist die reale Umgebung wieder zu erkennen. Nur dann kann die Konfiguration gelingen. Für die 3D Darstellung optimierte Werkzeuge müssen dem Nutzer bereitgestellt werden, so dass dieser den Sensor für die jeweilige Anwendung konfigurieren kann. Des Weiteren ist der Servicefall zu betrachten: es ist notwendig komplexe Anleitungen zur Wartung oder Inbetriebnahme, die die 3D Sensorik mit sich bringt, dem Nutzer so aufzubereiten, dass diese verständlich und im wahrsten Sinne fassbar sind.

Um all diese Herausforderungen zu meistern, haben wir bei SICK die Möglichkeiten der Microsoft HoloLens genauer untersucht und Lösungen erarbeitet. Diese Lösungen decken alle drei genannten Anwendungsfälle: Datenvisualisierung, Konfiguration und Service, ab.

1 Einführung

Nach der ersten industriellen Revolution durch die Erfindung der Dampfmaschine und auch der zweiten durch den Einsatz von Fließbandarbeit in der Produktion haben wir inzwischen die dritte industrielle Revolution in Form der Automatisierung durch Elektronik und IT erlebt. Insbesondere seit der Automation sind Sensoren ein entscheidender Faktor in der Industrie. Sie registrieren Zustände und ermöglichen es Veränderungen zu erkennen und auf diese zu reagieren, indem sie Befehle an angeschlossene Maschinen und Rechner senden. Man spricht heute von der vierten industriellen Revolution oder „Industrie 4.0“ und meint damit die Digitalisierung der industriellen Produktion. Im Rahmen dieser Entwicklungen bekommt die Aufgabe der Kommunikation eine noch stärkere Bedeutung. Ein wesentlicher Teil dieser Kommunikation ist die Transformation von Daten in Information. Wenn ein mensch-

licher Benutzer mit der Einrichtung oder Diagnose einer Anlage beauftragt ist, benötigt er Informationen und nicht nur Daten.

Die SICK AG hat es sich zur Aufgabe gemacht, solche Sensoren nicht nur herzustellen und zu vertreiben, sondern auch das nötige Know-How zur Einrichtung und ansprechende Benutzerschnittstellen zu liefern. Der Bereich GBC09 Business Unit 05 - 3D Compact Systems hat das strategische Ziel Innovationen im Bereich 3D-Sensortechnik zu entwickeln sowie neue Märkte und Anwendungen in der Automatisierungstechnik zu eröffnen.

Die dort entwickelten Produkte zeichnen sich durch unterschiedliche Einsatzbereiche, Robustheit in industrieller Umgebung und einen kompakten Sensoraufbau aus. Es sind schlüsselfertige Sensorlösungen mit der Option, eigene spezifische Applikationen zu integrieren.

Für viele industrielle Anlagen ist es notwendig Räume oder Bereiche dreidimensional zu erfassen. Dazu können 3D Kameras wie die Visionary-T[1] verwendet werden. Diese sind in der Lage Tausende Bildpunkte (Pixel) in einer einzigen Aufnahme zu erfassen und so ein detailliertes dreidimensionales Abstandsbild, ein 3D Snapshot, des gesamten Bildbereichs aufzunehmen.

Wenn diese 3D Kameras nicht nur reine Datenlieferanten sind, sondern die Daten auch direkt verarbeiten und in Informationen umwandeln, sprechen wir bei SICK von einem 3D Sensor. Solche 3D Sensoren kommen in zahlreichen Abläufen im Automatisierungsnetzwerk zum Einsatz – sowohl in der Fabrik- als auch in der Logistikautomation ([2]). Überall dort, wo Detektion im räumlichen Kontext zur Qualitätskontrolle, Prozessoptimierung und funktionalen Sicherheit beitragen kann, stellen 3D Sensoren eine effektive Lösung dar.

2 Problembeschreibung

3D Sensoren generieren Daten in Form einer Punktwolke. Um diese Daten in für Menschen begreifbare Information zu verwandeln, müssen die Punktwolken visualisiert werden. Erst dann ist es mögliche eine Konfiguration oder Diagnose der Anlage durchzuführen. Diese wird aktuell in der Regel auf herkömmlichen PCs oder Laptops ausgeführt. die mit Display, Tastatur und Maus ausgestattet sind. Dazu wird die Punktwolke auf dem Display visualisiert.

Aufgrund der Zweidimensionalität des Displays kann solch eine Visualisierung immer nur einen eingeschränkten, sich auf eine einzige Perspektive beziehenden räumlichen Eindruck vermitteln. Es muss eine Softwarefunktion zur Verfügung gestellt werden, mit deren Hilfe die Perspektive geändert werden kann. Solche Funktionen sind aus dem Bereich der CAD Software oder auch 3D Computerspielen bekannt, doch muss deren Verwendung vom Anwender erst gelernt werden.

Allerdings reicht es nicht aus die Perspektive ändern zu können, der Anwender muss in der Lage sein, die aufgenommene Szene in der Visualisierung wieder zu erkennen. Nur dann ist er in der Lage den Bezug zur Applikation herzustellen und diese erfolgreich einzurichten. Unpräzise Messdaten und starke Abhängigkeit von Reflektionseigenschaften der Umgebung im Infrarotbereich erschweren diese Wiedererkennung unter Umständen. Die Visualisierung von 3D Szenen ist wohl erforscht und es gibt zahlreiche Methoden die eine sehr immersive Abbildung der Szene ermöglichen. Es bleibt jedoch schwierig, einen mentalen Abgleich von dieser 2D Abbildung zurück in die echte 3D Umgebung zu machen. Bei der perspektivischen Darstellung geht immer Information verloren, die nicht zurückzuholen ist.

Für den manuellen Vorgang der Konfiguration und Diagnose stehen in der Regel auch nur herkömmliche Eingabegeräte wie Maus und Tastatur zur Verfügung. Das bedeutet, dass in der Regel nur 2D Ein- und Ausgabegeräte zur Verfügung stehen um den 3D Sensor für die Applikation konfigurieren. Allerdings muss für die Applikation in der Regel auch ein 3D Arbeitsbereich definiert werden. Dies führt dazu, dass Einrichtungsschritte in aufwändiger Weise aufbereitet und implementiert werden müssen. Hinzu kommt in vielen Fällen dazu, dass der Kunde geschult werden muss. Dadurch steigen die Kosten sowohl auf Seiten von SICK in der Entwicklung als auch beim Kunden durch den großen Integrationsaufwand.

Um diesem Problem bei immer komplexer und leistungsfähiger werdenden 3D Sensoren Herr zu werden, untersuchen wir, wie die Einrichtung mit Hilfe von 3D Ein- und Ausgabegeräten vereinfacht werden kann. Für erste Untersuchungen fiel die Wahl auf die Microsoft HoloLens, da sie sowohl die 3D Visualisierung durch ihr holographisches Display, als auch die 3D Eingabe durch Gesten ermöglicht.

Nachdem zunächst die Herausforderungen und Probleme bei der Einrichtung von 3D Sensoren erläutert wurden (siehe Kapitel 2) wird in Kapitel 3 beschrieben warum die HoloLens ein geeignetes Mittel ist, während in Kapitel 4 Beispielanwendungen dargestellt werden. Der Beitrag schließt mit einem Fazit in Kapitel 5.

3 HoloLens als Lösung

Verschiedene Mixed-Reality-Technologien bieten ein breites Spektrum an Möglichkeiten Messdaten auch dreidimensional zu visualisieren. Einen entscheidenden Fortschritt in diesem Bereich markierte zuletzt der Markteintritt der ersten Version der Microsoft HoloLens. Neben der reinen Visualisierung im Raum erlaubt es die HoloLens auch mit der Umgebung zu interagieren. Die Umgebung wird erfasst und erlaubt daher eine Interaktion zwischen virtuellen und echten Objekten, die bis daher noch nicht möglich war.

Unsere Grundidee ist die folgende: anstatt die 3D Informationen in 2D abzubilden, bleibt man im dreidimensionalen und nutzt die HoloLens als alleiniges Ein- und

Ausgabegerät zur Einrichtung. Diese erlaubt nicht nur die dreidimensionale Darstellung, sondern auch noch eine Interaktion im 3D mit Hilfe von Blick- und Gestensteuerung.

Es ist wie erwähnt nicht nur die Visualisierung von Messdaten von Interesse, sondern auch die Interaktion mit der 3D Kamera zur Konfiguration und Diagnose. Die HoloLens ermöglicht die virtuelle Einblendung sowohl des Erfassungsbereichs mitsamt aktuell erfasster Daten als Punktwolke, als auch des zu konfigurierenden Arbeitsbereichs an der realen Position der selbigen. Ein derartiges visuelles Feedback gibt dem Einrichter anschaulich Rückmeldung über seine Konfiguration. Darüber hinaus kann er sich in der Anlage physisch bewegen und sie aus verschiedenen Perspektiven betrachten, während die virtuellen Informationen im Raum an der gleichen Position erhalten bleiben. Mögliche Störobjekte im realen Raum bleiben so stets im Blick und der mentale Abgleich von Messdaten und realer Szene ist direkt gegeben. Dies vereinfacht die Konfiguration und verhindert Fehler.

Des Weiteren sind Mixed Reality Visualisierungen im Kontext von Automatisierungsanlagen nicht nur für Sensoren gewinnbringend, auch für andere Geräte wie Aktoren, Regler, Steuerungseinheiten usw. können immersive Visualisierungen von Vorteil sein.

Es gibt noch ein weiteres Argument für die HoloLens. Für die Visualisierung aktueller Geräteparameter (u.a. Messwerte, Konfigurationsparameter) ist es notwendig mit dem 3D Sensor zu kommunizieren, sowie ihn zu lokalisieren und zu identifizieren. Die Kommunikation hat den Zweck die Daten zwischen 3D Sensor und HoloLens auszutauschen. Hier ist es von Vorteil, dass sowohl die HoloLens als auch der 3D Sensor eine eigenständige Recheneinheit besitzt und somit keine weitere externe Hardware notwendig ist. Die Lokalisierung ist erforderlich, um die Messdaten in Form der Punktwolke an der richtigen Position und in korrekter Orientierung in der echten Welt zu visualisieren. In Automatisierungsanlagen wird häufig eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren verwendet und miteinander vernetzt. Um Kommunikationsdaten einem von mehreren lokalisierten Geräten zuordnen zu können, muss jede Lokalisierung mit einer eindeutigen Identifikation einhergehen. Hier können die in der HoloLens eingebauten Sensoren und Kameras verwendet werden um Geräte wie zum Beispiel unser 3D Sensor, in der echten Welt zu erkennen und sich mit ihnen zu verbinden.

Aufgrund dieser Argumente haben wir uns bei SICK dazu entschieden, die Möglichkeiten der HoloLens genauer zu evaluieren. Im Folgenden werden einige Beispielapplikationen genauer erläutert.

4 Anwendungsbeispiele

Die Verwendung der HoloLens beginnt schon vor der ersten Inbetriebnahme. Anstatt eines herkömmlichen Handbuchs auf Papier oder als PDF auf einem Datenträger stellt der Hersteller eine HoloLens App zur Verfügung (siehe Bild 1). Diese erlaubt dem Benutzer eine schnelleres Kennenlernen des Geräts, da auch hier der Abgleich zwischen 2D Visualisierung (im Handbuch) und echter Welt keine mentale Herausforderung bedeutet.

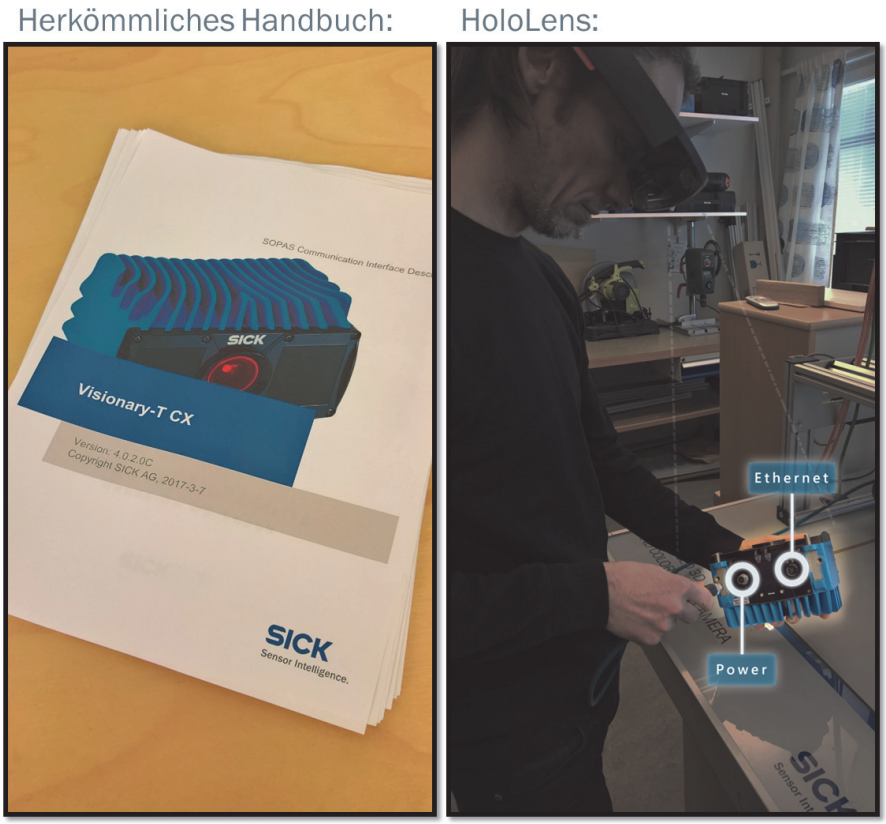


Bild 1: Virtuelles Handbuch

Als erster Schritt in der Inbetriebnahme muss der Sensor lokalisiert werden. Dazu wurde eine erste prototypische App entwickelt, die eine manuelle Anpassung von Position und Orientierung des Sensors mittels Gestensteuerung ermöglicht. In **Bild 2** ist ein solcher Vorgang illustriert. Initial wird der Sensor an eine feste Position

direkt vor dem Anwender positioniert. Dieser kann nun mit einer Greifgeste quasi in die Hand genommen werden und an der gleichen Position, wie der echte 3D Sensor abgesetzt werden. Nicht illustriert ist die Anpassung der Orientierung die auch mittels Greifgesten umgesetzt wurde.

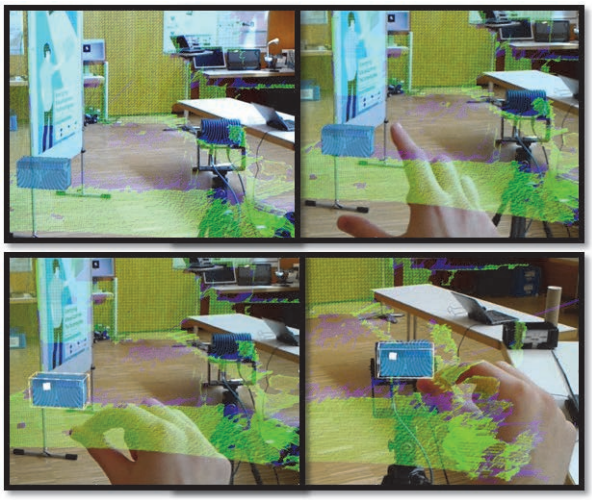


Bild 2: Manuelle Lokalisierung

Im weiteren Verlauf der Inbetriebnahme können nun Visualisierungen zur Konfiguration des 3D Sensors mit der realen Szene überlagert werden. Ein typischer Arbeitsschritt ist hierbei die Definition eines 3D Arbeitsbereichs innerhalb des Sichtbereichs des 3D Sensors (siehe Bild 3).

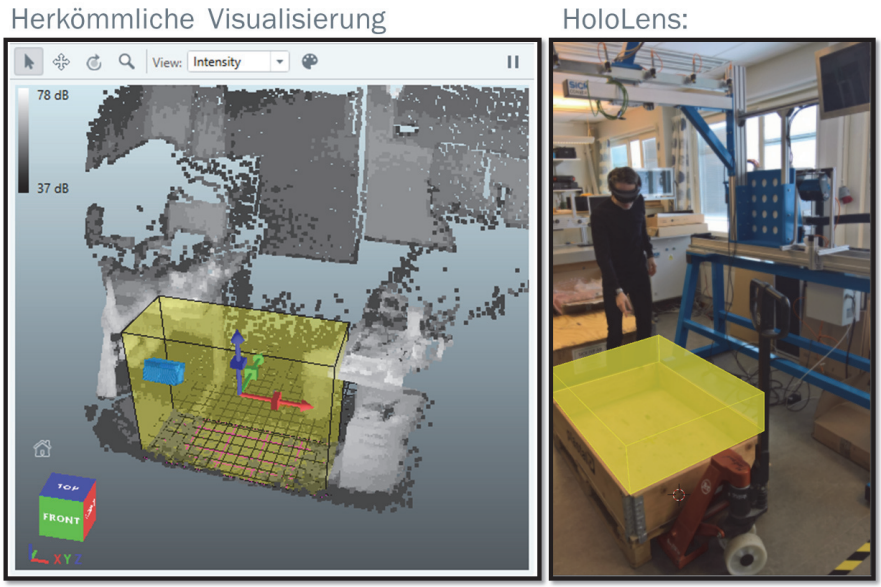


Bild 3: Einrichten von Arbeitsumgebungen

Der Benutzer kann direkt den virtuellen Arbeitsbereich an die Applikation anpassen. Dazu kann der Arbeitsbereich mit Hilfe von Gesten in seinen Ausmaßen angepasst werden. Durch das Arbeiten in der realen Szene ist kein Ausmessen oder Abschätzen erforderlich.

Im Rahmen der Untersuchungen haben wir eine App für die HoloLens geschrieben, die eine solche Anpassung des Arbeitsbereichs erlaubt (siehe **Bild 4**). Der Arbeitsbereich wird dem Nutzer als Gitterbox mit roten Würfeln an den Ecken visualisiert. Mit Hilfe der Greifgeste können die Würfel ausgewählt und bewegt werden. Zusätzlich kann auch der gesamte Bereich gegriffen und dann im 3D Raum als Ganzes verschoben werden.

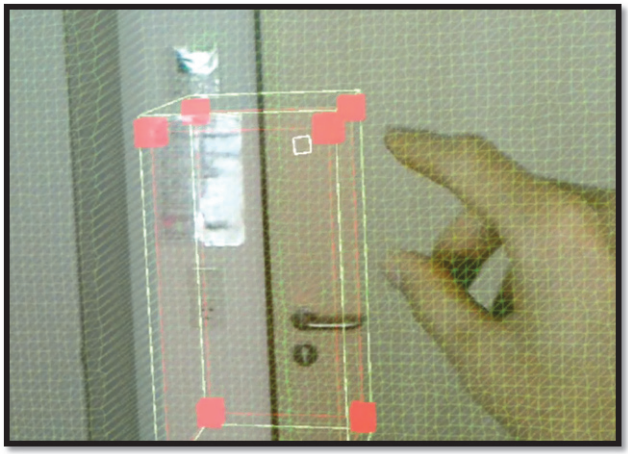


Bild 4: Gestenbasierte Anpassung des Arbeitsbereichs

Der 3D Sensor ist während der Konfiguration die ganze Zeit aktiv. Der Benutzer sieht also auch genau das, was der Sensor sieht und bekommt auch direkt eine Rückmeldung, zu welchem Ergebnis die Konfiguration führt.

Bild 5 zeigt exemplarisch einen Vorgang bei dem die Applikation eine Tür überwachen soll. Der Arbeitsbereich wird auf den Schwenkbereich des Türblatts gesetzt und sobald dieser Bereich betreten wird, erkennt dies der Sensor. Diese Erkennung wird durch eine blaue Einfärbung der Würfel dargestellt. Der Benutzer bekommt also ein direktes Feedback während des Einrichtevorgangs.

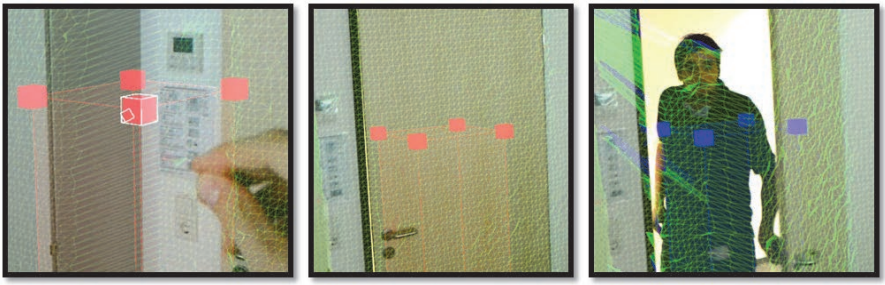


Bild 5: Detektion im Arbeitsbereich

5 *Fazit*

Die HoloLens App wurde zahlreichen Entwicklern und Produktionsverantwortlichen auf verschiedenen, internen Veranstaltungen demonstriert. Alle Benutzer zeigten

sich beeindruckt von der HoloLens und ihrem holografischen Display. Auch unsere Grundidee auf den Umweg über eine 2D Ein- und Ausgabe zu verzichten, wirkte auf den Benutzern überzeugend und stieß auf große Zustimmung. Insgesamt haben die ersten Versuche mit der HoloLens einen sehr positiven Eindruck hinterlassen. Wir konnten in ersten Arbeiten die Machbarkeit eines Einsatzes der HoloLens in allen drei Zielszenarien (Datenvisualisierung, Konfiguration und Service) demonstrieren. Dies hat ein großes Interesse an weiteren Projekten mit der HoloLens und allgemein bei der Verwendung von Mixed-Reality-Umgebungen geweckt.

Allerdings hat die Verwendung im Labor und auf den genannten Veranstaltungen auch gezeigt, dass das Tragen der HoloLens über einen längeren Zeitraum nicht ergonomisch ist. Das hohe Gewicht der HoloLens und die notwendige Fixierung am Kopf sind eigentlich allen Personen, die es ausprobiert haben, unangenehm aufgefallen. Da die HoloLens im Rahmen der Demonstrationen immer von einer Person zur anderen gereicht wurde, war nie die Zeit, die HoloLens sehr genau an den jeweiligen Träger anzupassen oder zu kalibrieren. Solch ein Vorgang wäre in der Praxis sicherlich denkbar und würde den Komfort bei der Verwendung zu einem gewissen Maß erhöhen.

Unser Ziel muss es aber sein, dass es in allen drei Zielszenarien möglich ist, die notwendige Arbeitszeit zur Vollendung der Aufgabe zu reduzieren. Da dies genau die Grundidee unseres Ansatzes ist, sind wir zuversichtlich in der nahen Zukunft eine solche Lösung auch Kunden anbieten zu können.

Literaturangaben

[1] SICK AG, Produktinformation Visionary-T, Artikelnummer: 8018964, Veröffentlichung: 10.01.2017

[2] Dudczig, M.; Schumann, M.; Klimant, Ph.; Lorenz, M.: Wie sieht die Intralogistik der Zukunft aus? ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: Vol. 111, No. 7-8, pp. 449-452, 2016

Augmented Reality

Maritime Ausrüstungsmontage mit kollaborativer Augmented Reality

Friedewald, A.[1]; Rost, R.[1]; Meluzov, N.[1]

[1] TU Hamburg-Harburg, Institut für Produktionsmanagement und -technik

Abstract

Die maritime Produktion ist wegen hoher Kundenindividualität durch einen simultanen Verlauf von Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung / Montage gekennzeichnet. Dadurch kommt es im direkten Bereich zu zahlreichen Nachfragen, die entweder vom Vorarbeiter oder von der Arbeitsvorbereitung oder der Konstruktion zu klären sind. Um den hohen Zeitaufwand für diese Prozesse deutlich zu verringern, wurde ein Augmented-Reality-basiertes Framework für eine effiziente Zusammenarbeit von direkten und indirekten Bereichen in der schiffbaulichen Produktion entwickelt.

1 Einleitung

Der Schiffbau in Deutschland ist geprägt von der Unikatproduktion, da bei Spezialschiffen, Luxusyachten oder Kreuzfahrtschiffen ständig neue Attraktionen von den Eignern oder Passagieren nachgefragt werden. Die Kunden erwarten, Änderungen noch nach der Auftragserteilung und teilweise während der Bauphase vornehmen zu können. Erschwerend kommt hinzu, dass der Fremdleistungsanteil der Wertschöpfung auf deutschen Werften bei etwa 80 Prozent liegt [1], so dass werfteigene Mitarbeiter, Lieferanten und deren Unterauftragnehmer gleichzeitig einzelne Baugruppen des Gesamtprodukts montieren. Aufgrund der simultanen Produktion kommt es zu zahlreichen Klärungs- und Änderungsprozessen sowohl innerhalb der direkten Bereiche als auch zwischen direkten und indirekten Bereichen. Die Diskussion der teilweise komplexen Sachverhalte geschieht in der Regel über konventionelle Kommunikationsmedien wie Telefongespräche oder Emailverkehr. Neue Potentiale, um Flexibilität, Produktivität und Prozessqualität der maritimen Unikatfertigung zu verbessern, bieten im Rahmen von Maritim 4.0 verfügbare Methoden von Digitalisierung und Vernetzung [2]. Bild 1 zeigt zwei unterschiedliche Potentialfelder in direkten und indirekten Bereichen, die im Folgenden näher erläutert werden.

Analysen bei Werften und Zulieferern haben gezeigt, dass insbesondere in Montageprozessen hohe Zeitanteile für Beschaffung und Aufbereitung von Informationen aufgewendet werden [3]. Durch den Einsatz von Augmented-Reality-gestützten Tablet-Anwendungen („Digitale Arbeitsunterlagen“) konnten die Prozesse und die Montage produktiver gestaltet werden [3]. Potential A in Bild 1 verdeutlicht diese Effizienzsteigerung.

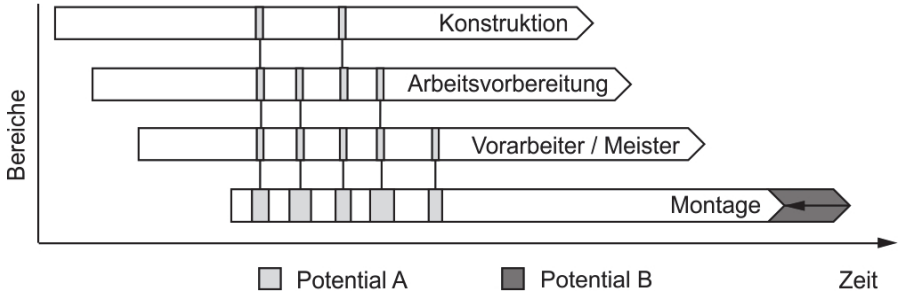


Bild 1: Aufwand für Klärungs- und Änderungsprozesse in der Unikatfertigung

Kommt es während des Montageprozesses zu Problemen oder ergeben sich späte Konstruktionsänderungen, sind zwei alternative Szenarien denkbar: Entweder kann der Vorarbeiter oder Meister das Problem lösen oder es wird eine bereichsübergreifende Lösung notwendig. In beiden Fällen wird der gewöhnliche Arbeitsablauf unterbrochen und die Produktivität sinkt mindestens im indirekten Bereich, ggfs. auch im direkten Bereich. Um auch hier weiteres Potential (B) heben zu können, muss die digitale Arbeitsunterlage um Kollaborationsfunktionen erweitert werden. Dieser Beitrag beschreibt, welche Funktionen dazu in eine Plattform zur direkten und zur bereichsübergreifenden Zusammenarbeit integriert werden.

2 *Informationsflüsse in der maritimen Ausrüstungsmontage*

Der simultane Ablauf von Konstruktions-, Fertigungs- und Montageprozessen im Sinne von Simultaneous Engineering erfordert eine enge Abstimmung der mitwirkenden Abteilungen und Bereiche [4, 5]. Im Folgenden werden der bisherige Ablauf eines solchen Klärungs- bzw. Änderungsprozesses erläutert und im Anschluss die konkreten Defizite im Prozessverlauf verdeutlicht.

2.1 Klärungs- und Änderungsprozess

Die Produktion von Unikaten und Kleinserien ist von einer hohen Vielfalt und zugleich niedrigen Wiederholhäufigkeit der durchzuführenden Arbeitsaufgaben ge-

prägt [6]. Die Wahrscheinlichkeit für Konstruktions- und Montagefehler ist daher höher als in der Serienproduktion. Auslöser können beispielsweise unterschiedliche Konstruktionsstände in den Unterlagen, Kollisionen innerhalb der Montageumgebung durch Montageabweichungen oder missverständliche Arbeitsanweisungen sein. Tritt ein solcher Fehler ein, kann dieser häufig nicht von den Produktionsmitarbeitern am aktuellen Arbeitsort gelöst werden. Entweder wird der an einem anderen Ort, z. B. auf einem anderen Schiffsdeck, befindliche Vorarbeiter (oder Meister) angesprochen, der ggfs. die Arbeitsvorbereitung (AV) oder Konstruktion hinzuziehen muss. Bild 2 zeigt den schematischen Ablauf eines typischen Klärungsprozesses zwischen Werker, Vorarbeiter und Konstrukteur, der z. B. von einem Montagefehler ausgelöst werden kann.

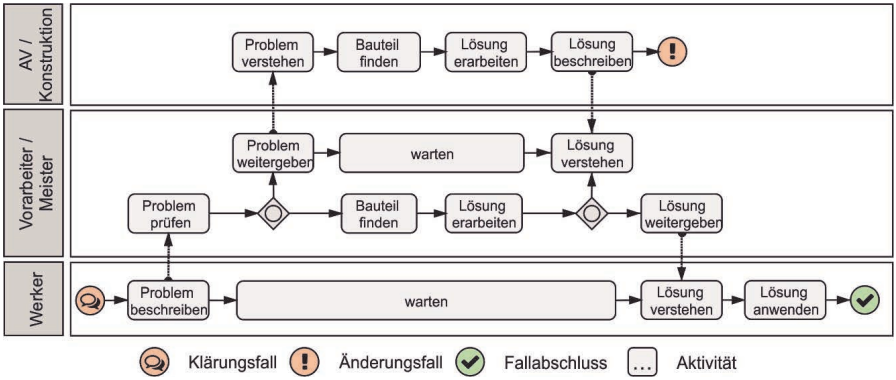


Bild 2: Schematischer Ablauf eines Klärungsprozesses

Nach Eintritt eines Klärungsfalls muss der Werker zunächst den Vorarbeiter kontaktieren, der sich um eine Problemlösung bemühen muss. Ist hier kein Erfolg zu verzeichnen, muss der Vorarbeiter zunächst den zuständigen Ansprechpartner ermitteln. Bei Unterauftragnehmern erfordert dies häufig Umwege über Vermittler oder Bereichsverantwortliche, sodass ein hoher Zeitaufwand entsteht und die wertschöpfende Tätigkeit zum Teil lange unterbrochen werden muss. Ist die richtige Ansprechperson gefunden, beschreibt der Vorarbeiter das Problem am Telefon oder mit einer E-Mail. Da oftmals ein geometrisches Problem in Worten beschrieben werden muss, ist vor allem bei komplexen Sachverhalten das Problem vom Konstrukteur nicht auf Anhieb verständlich, so dass Rückfragen und vielfach zusätzliche Laufwege zur Klärung direkt am Montageplatz oder im schlimmsten Fall Missverständnisse entstehen, welche zu weiteren Fehlern führen. Auf Anweisung des Vorarbeiters unterbricht der Werker seine ursprüngliche Arbeit und widmet sich einer neuen Aufgabe, während der Konstrukteur die betroffene Baugruppe in seinem System sucht und eine Lösung entwickelt. Für die Lösungsfindung ist auch der Konstrukteur gezwungen, seine aktuelle Arbeitsaufgabe zu unterbrechen. An-

schließend kontaktiert er den Vorarbeiter, der ebenfalls seine Arbeit unterbrechen muss, um die Lösung an den Werker zu kommunizieren. Mit der vom Konstrukteur erarbeiteten Änderung ist zwar das aktuelle Problem gelöst, jedoch besteht ein Risiko dadurch ausgelöster neuer Montageprobleme, sodass ein weiterer Klärungsprozess an anderer Stelle neu angestoßen wird.

2.2 Defizite

Aufwändige Prozesse zur Kommunikation zwischen Werker und Vorarbeiter sowie zur Identifikation eines Ansprechpartners, der Einsatz konventioneller Kommunikationsmedien (Telefon, E-Mail) sowie die Komplexität und örtliche Trennung schon im direkten Bereich durch verteilte Montageorte und zusätzlich zu den indirekten Bereiche führen insbesondere zu einer negativen Beeinflussung der Faktoren Zeit und Qualität. Kommt es zu Missverständnissen und infolgedessen zu Wartezeiten oder Mehrarbeit, so wirkt sich dies zusätzlich auf die Kosten aus. Eine Erweiterung der klassischen Kommunikationsmedien durch Videos (Videotelefonie) oder Bilder (Fotos im Anhang einer E-Mail) kann zwar den Zeitaufwand für Vor-Ort-Besprechungen oder die Häufigkeit von Missverständnissen reduzieren. Gerade bei komplexen Problemstellungen fehlt bei diesen Medien jedoch nach wie vor eine Verknüpfung zwischen der beschreibenden (mündlich / textuell) und der visuellen (Video / Bild) Schilderung des Problems für eine bessere Verständlichkeit. Das folgende Kapitel zeigt ein Konzept für eine effiziente Kommunikation innerhalb der direkten und zwischen direkten und indirekten Bereichen.

3 Kollaborative Augmented Reality

In den indirekten Bereichen ist der Einsatz von 3D-CAD-Modellen auch im Schiffbau seit Jahren Standard. Sie erleichtern die anschauliche Darstellung komplexer geometrischer Sachverhalte. Untersuchungen in direkten Bereichen bei Werften und Zulieferern zeigen, dass dies auch für die Fertigungsunterlagen gilt [3]. Durch eine Vernetzung dieser digitalen Anzeigesysteme können zusätzliche Klärungsprozesse vereinfacht werden. Im Folgenden wird daher ein Ansatz präsentiert, welcher den Gedanken der Vernetzung mit Hilfe von Augmented Reality (AR) aufgreift, um weitere Produktivitätspotentiale heben zu können.

3.1 Herausforderungen und Lösungsansatz

Die beschriebenen Defizite lassen sich in vier wesentliche Herausforderungen gruppieren, die den Dimensionen der Kollaboration nach [7] zugeordnet werden können:

- Unternehmensübergreifende Koordination

  Um Suchzeiten für Ansprechpartner in Konstruktion und Arbeitsvorbereitung von Werft, Zulieferer oder Fremddienstleistern zu minimieren, muss eine neue Lösung die unternehmens- und bereichsübergreifende Koordination der beteiligten Mitarbeiter ermöglichen.

- Verbesserung der Kommunikation

  Um Missverständnisse und Rückfragen zu minimieren, muss vor allem die zweifelsfreie Visualisierung von geometrischen Problemstellungen parallel zu einer mündlichen oder textuellen Beschreibung erreicht werden. Darüber hinaus ist ein schneller Zugriff auf 3D-Geometriemodelle sicherzustellen.

- Integration von Wissen

  Während des Klärungsprozesses entsteht sowohl in den direkten als auch den indirekten Bereichen Wissen. Dies kann z. B. im Erkennen von Montageproblemen oder in erarbeiteten Problemlösungen bestehen. Dieses Wissen gilt es zu dokumentieren und so in den Wissensfundus der Unternehmen zu integrieren, dass es für zukünftige Problemstellungen zur Verfügung steht.

- Abbilden einer Informationslogistik

  Um Qualität und Effizienz der Klärungsprozesse zu steigern, muss die Lösung eine Informationslogistik bereitstellen, welche Informationen für die unterschiedlichen Beteiligten und Abteilungen zur Verfügung stellt, dabei jedoch Redundanzen vermeidet.

Die angesprochene digitale Arbeitsunterlage ist dazu um Funktionen der kollaborativen Arbeit zu ergänzen. Das zunächst für Aufgaben der maritimen Ausrüstungsmontage entwickelte System (Bild 3) ist als Framework aufgebaut und integriert bestehende Lösungen der betrieblichen IT-Landschaft.

3.2 Kollaborationsfunktionen

Die Zusammenarbeit externer und werfteigener Mitarbeiter aus direkten und indirekten Bereichen wird über sog. Kollaborationsfunktionen realisiert. Sie stellen die Schnittstelle zwischen den verschiedenen Anwendern und dem Kollaborationsframework dar.

Zu Beginn einer Zusammenarbeit sind die beteiligten Mitarbeiter zusammenzuführen. Diese Koordinationsaufgabe erfüllt eine Funktion des *Benutzerkontaktes*. Für

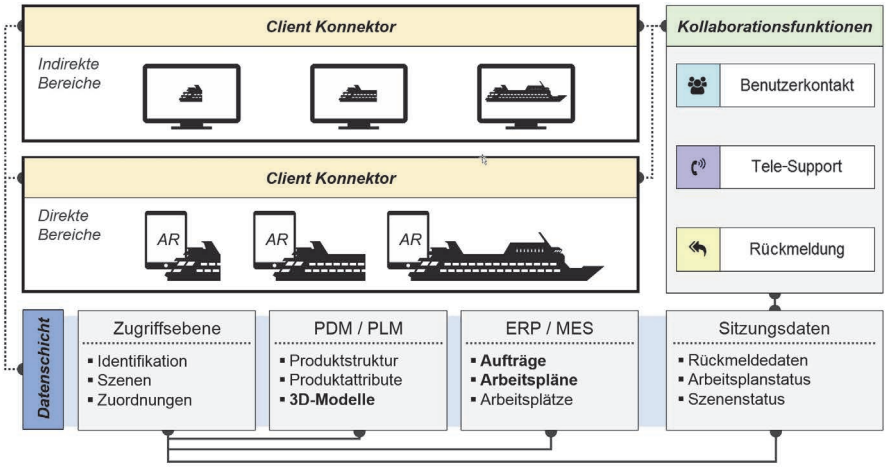


Bild 3: Kollaboratives Arbeiten mit Augmented Reality [8]

eine problemspezifische Identifizierung eines Ansprechpartners ist es notwendig, sowohl Zuständigkeitsbereiche von Mitarbeitern für bestimmte operative Gewerke oder Bauteile / Bauteilgruppen (hinterlegt im PDM/PLM-System) sowie losgelöst davon Zuständigkeitsbereiche für bestimmte Problemstellungen (Arbeitsvorbereitung / Konstruktion / Projektmanagement) einzubeziehen. Das Ziel ist das schnelle Auffinden des richtigen Ansprechpartners für das Problem eines spezifischen Bauteils.

Die Funktion *Tele-Support* setzt den zentralen Kommunikationsprozess um. Für die Durchsprache auch geometrisch anspruchsvoller Probleme werden dazu Daten aus Client-Systemen aufbereitet, visualisiert und an andere Benutzer und Client-Systeme weitergeleitet.

Im ersten Schritt können Kontextinformationen wie das aktuell manipulierte Bauteil und der dabei zuletzt durchgeführte Arbeitsschritt im aktuellen Arbeitsplan eine einfach verständliche Kommunikationsgrundlage sein. Diese Daten sind in der digitalen Arbeitsunterlage und in den CAD/ERP/MES-Systemen der Unternehmen verfügbar. Im zweiten Schritt kann die Kommunikation durch die Übermittlung von einschlägigen Aktionen ausgehend von den Client-Systemen fortlaufend unterstützt werden. Zum Beispiel kann das CAD-System eines Konstrukteurs das Auswählen eines Bauteiles melden. Dieses Ereignis wird von der Funktion Tele-Support verarbeitet, an die digitale Arbeitsunterlage eines kollaborierenden Vorarbeiters (und gleichzeitig oder später an diejenige eines Monteurs) übertragen und dort visualisiert. Umgekehrt kann die digitale Arbeitsunterlage die aktuelle Position des Betrachters übermitteln, so dass der Konstrukteur diese in seinem System einnehmen und die Szene aus demselben Blickwinkel betrachten kann. Die Positionsbestim-

mung erfolgt dabei über das in der Tablet-Anwendung integrierte Trackingsystem, das zur Darstellung der geometrischen Überlagerungen im Sinne von Augmented Reality sorgt.

Die *Rückmeldung* von Daten und Informationen beendet die Kollaborationsfunktionen und unterstützt die angesprochene Wissensintegration. Eine Rückmeldung kann dabei sowohl von direkten als auch von indirekten Bereichen ausgehen. Erfolgt beispielsweise eine Konstruktionsänderung, so kann diese systemseitig direkt an den Vorarbeiter und ggfs. an den Werker gemeldet werden, welche sich unter Verwendung der digitalen Arbeitsunterlage im näheren Umfeld befinden. Dadurch wird einem Montageproblem vorgebeugt.

3.3 Client-Konnektoren

Client-Konnektoren ergänzen die Kollaborationsfunktionen, indem 3D-verarbeitende Systeme wie die digitale Arbeitsunterlage oder eine CAD-Software als Interaktionsmedium eingebunden werden. Das Ziel der Integration ist zum einen die Nutzung der Funktionalität der vorhandenen Systeme, zum anderen die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur für den Austausch von Informationen zwischen den Nutzern.

Ein Konnektor stellt im Grunde ein Plug-In für ein bestehendes System dar und ist damit eine systemspezifische Entwicklung und Implementierung. Um den notwendigen Entwicklungsaufwand gering zu halten, melden die Konnektoren standardisierte Ereignisse wie z. B. das Auswählen oder das Bewegen eines Bauteiles, an ein Framework,. Die Ereignisse werden vom Framework protokolliert, verarbeitet und gezielt an die Systeme der Kollaborationspartner weitergeleitet. Zusätzlich muss ein Konnektor auch das Empfangen und Interpretieren ermöglichen. Wird beispielsweise ein Bauteil bewegt, muss es im jeweils dargestellten 3D-Modell identifiziert und entsprechend markiert bzw. manipuliert werden. Die technische Herausforderung besteht hier in der exakten Zuordnung von Ereignissen und Elementen der Produktstruktur, weswegen die Datenschicht die notwendige Infrastruktur bereitstellen muss.

3.4 Datenschicht

Die Datenschicht bildet den zentralen Zugangspunkt zur unternehmensinternen IT-Infrastruktur, um die notwendigen Daten für die einzelnen Client-Anwendungen strukturiert bereitzustellen. Insbesondere sind hier ERP/MES-Systeme zur Verwaltung von Aufträgen und Arbeitsplänen sowie das PDM/PLM-System als Speicherort der 3D-Modelle betroffen.

Ergänzende Datenstrukturen werden benötigt, um den Einsatz der Kollaborationsfunktionen zu gewährleisten, da hierzu Rückmeldungen, Arbeitsplanstatus sowie der aktiven Status einer Szene gespeichert werden müssen. Dazu wurde ein zu-

sätzlicher Datencontainer entwickelt, der diese für die Kollaborationssitzung relevanten Daten zusammenfasst.

4 Anwendung

Im vorangegangenen Kapitel wurde das Prinzip einer effizienten Zusammenarbeit unterschiedlicher Abteilungen unter Einsatz von Augmented Reality erläutert. Die folgenden Abschnitte verdeutlichen die Nutzung der Kollaborationsfunktionen für den beschriebenen Problemlösungsprozess mithilfe des Frameworks aus der Sicht der Mitarbeiter im direkten Bereich und für die bereichsübergreifenden Problemstellungen.

4.1 Kollaboration im direkten Bereich (Digitale Arbeitsunterlage)

Die digitale Arbeitsunterlage verfügt bereits über Funktionen zur schrittweisen Darstellung von Arbeitsanweisungen und zur Visualisierung geometrischer Objekte. Ergänzt um einen Konnektor zum Kollaborationsframework kann sie daher als Endgerät zur Erzeugung sowie Darstellung von Kollaborationsereignissen verwendet werden.

Wird statt der Tablet-Lösung eine AR-Brille, wie die Microsoft Hololens, eingesetzt, kann der Vorarbeiter, der sich wegen der verteilten Bauorte oftmals auf einem anderen Schiffsdeck befindet, direkt auf Rückfrage des Monteurs reagieren und eine Problemlösung erarbeiten. Bild 4 zeigt den Blick des Vorarbeiters durch eine AR-Brille.

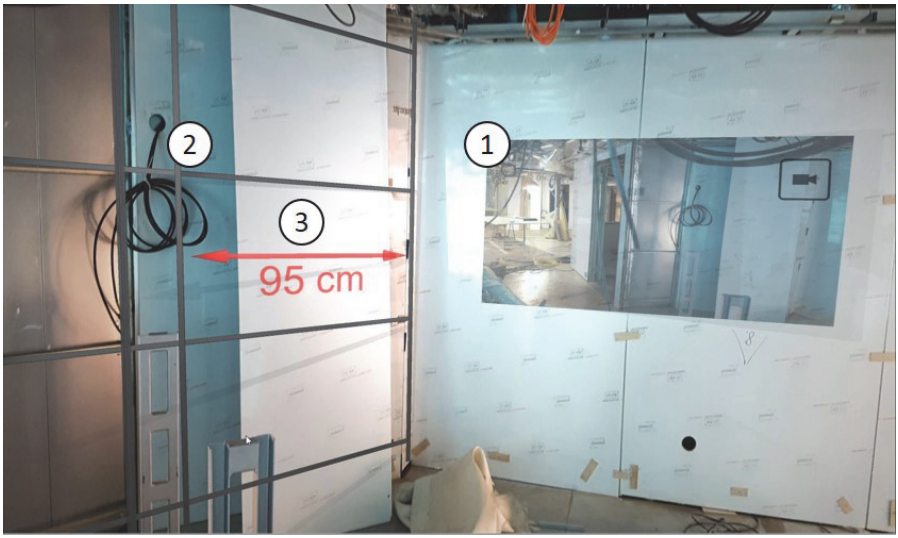


Bild 4: Kollaboration über die digitale Arbeitsunterlage

Die integrierte Sprachfunktion ermöglicht den mündlichen Austausch zwischen dem Vorarbeiter und dem Werker und die Beschreibung der Rückfrage. Gleichzeitig hat der Vorarbeiter die Möglichkeit das Kamerabild des Monteurs aufzurufen und auf eine Wand, in der Umgebung, zu projizieren (1). Die Visualisierung des Kamerabildes hilft dem Vorarbeiter die Situation des Monteurs vor Ort besser zu verstehen und einzuordnen. Zur Unterstützung bei der Problemlösung hat der Vorarbeiter Zugriff auf montagerelevante CAD-Modelle, welche als Augmentation in der Umgebung aufgerufen und platziert werden können (2). Durch das Auswählen von Referenzflächen der Bauteile werden zusätzlich Bauteilmaße (3) angezeigt. Die virtuelle Interaktion mit dem CAD-Modell und die Anzeige eines Live-Bildes helfen den Vorarbeitern bei der Problemfindung und -lösung und ermöglichen eine schnell Abwicklung von Rückfragen. Der Zugriff auf das stets aktuelle CAD-Modell vermeidet die Weitergabe veralteter Informationen trotz konstruktiver Änderungen in bereits begonnenen Montageprozessen.

4.2 Kollaboration mit indirekten Bereichen (Webanwendung)

Bild 5 zeigt die Implementierung der Kollaborationsfunktionen in einer Webanwendung. Diese kann grundsätzlich von jedem Mitarbeiter aufgerufen werden. Durch die Rückmeldung der Positionen kollaborierender Werker unter Nutzung der digitalen Arbeitsunterlage wird dem Anwender zunächst ein Überblick über die unmittel-

bare Umgebung der betroffenen Baugruppe sowie andere im Arbeitsbereich befindliche Mitarbeiter geliefert (1).

Außerdem kann mithilfe der übermittelten Perspektive der genaue Blickwinkel des Werkers eingenommen und so eine gemeinsame Diskussionsgrundlage geschaffen werden (2). Für die dargestellten Visualisierungen ist dabei lediglich die Übermittlung der Positionsdaten notwendig, es müssen weder Videobilder noch Geometriemodelle übertragen werden. So kann auch bei langsamen Datenverbindungen die Kollaboration auf dieser Ebene aufrecht erhalten werden, sofern nicht optische Soll-Ist-Vergleiche angestellt werden müssen.

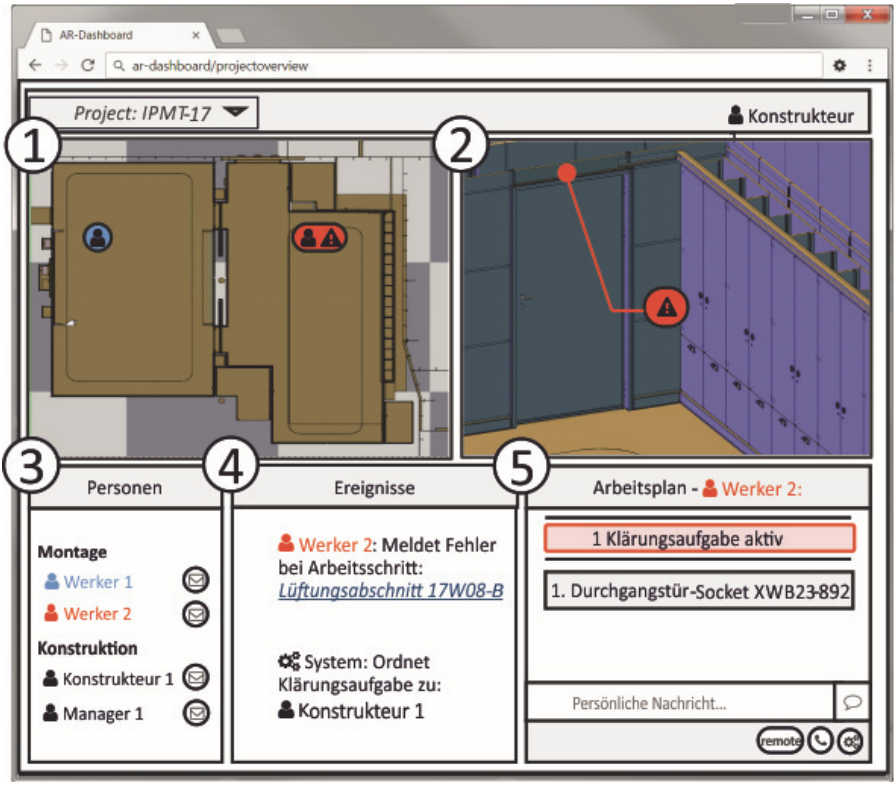


Bild 5: Kollaboration über Webapplikation

Ergänzend wird der aktuelle Arbeitsplan sowie der aktive Arbeitsschritt übermittelt (5). Diese Ansicht kann mithilfe der Personalliste (3) sowie der Übersichtskarte für jeden Mitarbeiter innerhalb des betroffenen Bereichs aufgerufen werden und so mögliche Kollegen zur Hilfestellung koordiniert werden. Ergänzend werden für eine

bessere Übersicht während der Kollaborationssitzung alle stattfindenden Ereignisse in einer zusätzlichen Ereignisliste dargestellt (4).

5 Zusammenfassung

Wie ausführliche Analysen bei Werften und Zulieferern gezeigt haben, kann Augmented Reality die Produktivität sowohl in direkten als auch in indirekten Bereichen der Produktion von Unikaten messbar steigern. Kommt es hier jedoch wegen kurzfristiger Änderungen zu unvorhergesehenen Montageproblemen, werden aufwändige Klärungsprozesse angestoßen. Diese sind allein wegen der verteilten Arbeitsorte schon im direkten Bereich und zusätzlich im indirekten Bereich sehr zeitaufwändig und kommunikationsintensiv. Durch die Ergänzung der digitalen Arbeitsunterlage, einem Augmented-Reality-System für Montageaufgaben, mit zusätzlichen Kollaborationsfunktionen kann weiteres Produktivitätspotential in der maritimen Ausrüstungsmontage gehoben werden. Dies geschieht über die Einbindung in ein übergeordnetes Framework zum zielgerichteten Austausch von Informationen zu Arbeitsschritten, Bauteilen und Bauteilmanipulationen zwischen unterschiedlichen Beteiligten, Abteilungen und Systemen.

Literaturangaben

[1] *Ludwig, T.: Beschäftigung, Auftragslage und Perspektiven im deutschen Schiffbau, IG Metall Küste, Hamburg, 2017*

[2] *Lukas, U. v.: Zur Rolle des Menschen in der Zukunftsvision Maritim 4.0. In: Schiff & Hafen, 2016, 68 (11): 12-14*

[3] *Friedewald, A.; Halata, P. S.; Meluzov, N.; Lödding, H.: Die Produktivitätswirkung von Augmented Reality in der Unikatfertigung. In: Schlick, C. M.: Megatrend Digitalisierung - Potenziale der Arbeits- und Betriebsorganisation, Wissenschaftliche Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V., GITO-Verlag, Berlin 2016, 141-162*

[4] *Heinig, M.: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten, Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2015*

[5] *Nedeß, C.; Friedewald, A.; Wagner, L.: Verbesserte Planung durch Ablaufsimulation von Szenarien. In: Schenk, M.: Digital Engineering - Herausforderungen für die Arbeits- und Betriebsorganisation, HAB-Forschungsbericht, GITO-Verlag, Berlin, 2009, 239-259*

[6] Schomburg, E.: Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau. Dissertation, RWTH Aachen, 1980

[7] Neumeyer, S. et al.: Systems Engineering im Kontext der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung. In Schulze, S.-O. et al.: Tag des Systems Engineering 2016, Hanser-Verlag, München, 2017: 23–32

[8] Friedewald, A; Meluzov, N.; Rost, R.: Blue CollAR: Kollaboratives Arbeiten mit Augmented Reality in der maritimen Montage. In: Lukas, U. v. et. al:Go-3D 2017 „Mit 3D Richtung Maritim 4.0“, Tagungsband, Fraunhofer-Verlag, Stuttgart, 2017: 87-100

Danksagung

Das Forschungsprojekt SUPER (Schiffbauliche Unikatproduktion mit Erweiterter Realität, Fkz. 19181 BG) wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Auto AR – Visualising Architectural Data using Mobile Panoramic AR

Oppermann, L.[1]; Shekow, M.[1]

[1] Mixed and Augmented Reality Solutions, Fraunhofer FIT, Sankt Augustin

Abstract

Being able to explore vast outdoor scenery, cityscapes, or the interior of virtual buildings is the state of the art for video gamers. But city planners and building owners usually still have to settle with blue-prints, rendered movies, and miniature models. We present “Auto AR”, a mobile Augmented Reality system that allows the user to experience virtual building models on site, almost as if they were already built. The user sits on the passenger’s seat, wearing a head mounted display through which she sees the existing environment and virtual buildings superimposed on top. The system consists of a panoramic camera and surveying equipment mounted on the roof-top of a car. Sensor fusion and rendering is performed on a laptop workstation, which also records all data. This enables recreating the experience off site for a wider audience and allows to produce videos, facilitating discussions in various scenarios among all participating stakeholders of the construction process.

1 Introduction

Workflows in architecture, engineering and construction are currently undergoing the second major renewal in the past 20 years. After the significant move from ink-based drawings to Computer Aided Design (CAD) came the move to full 3D building models. Those models are now continuously linked with additional meta-data (such as process management, building controls, electrical, fire and plumbing) and regarded as the central digital model of the whole building process. The resulting digital collaboration process is also known as Building Information Modelling (BIM). It is considered to be a game changer to successful building in the future, and is described in government strategy plans of several countries, including the UK [1] and Germany [2]. The underlying assumption is that digitally facilitated collaboration will enable better teamwork and thus greater efficiency and better outcomes for all stakeholders. An important aspect is that all stakeholders have a common understanding of how planned buildings will look like, for which blue-prints are not suita-

ble because reading them is a specialist skill. Tools that are typically used to overcome this limitation are miniature models or virtual renderings. While they both have many advantages, they share the disadvantages of being expensive to build and change, and the inability to perceive the model in its surrounding environment.

Using virtual and augmented reality technologies for architectural and civil engineering applications has been repeatedly proposed and studied over the past thirty years [3]. Augmented Reality (AR), which augments the perceived real world with digital assets, is particularly suitable to get an impression of how architecture fits in the context of its surroundings. In this work we present Auto AR, which is one of several AR- and VR-based implementations that use BIM data as foundation [4].

2 System setup

Figure 1 shows an outside view of the system as well as the user's perception from the inside. On the roof-top of a car, we attach an industry-grade 360° panoramic camera and surveying equipment, specifically a centimetre-precision positioning system and orientation sensors. All components are connected to a laptop workstation located inside the car. The high quality position and orientation sensors data is fused on the workstation to provide the real-time and centimetre precise location and orientation of the car to the 3D rendering engine also executed on the workstation.

Figure 1: System set up (bottom-left) with co-driver wearing a HMD. Real-world view (top left) is augmented with virtual facade (top right). Thanks to: *VWFS, Oltmanns und Partner, DhochN, Büro Gaudlitz.*

Inside the car, on the passenger's seat, the co-driver of the car wears a head-mounted display, connected to the workstation. The rendering engine shows the live-view of the panoramic camera according to the user's head movement, thus effectively showing the existing built-up environment of the neighbourhood. But once the car gets near to the construction ground, the display allows for a virtual time warp. Instead of just seeing the empty site, the co-driver now sees the virtual buildings superimposed on top of the background video. With the help of the precise location and orientation sensor data the 3D-models are placed exactly where planned and show all the details that the architect put into them. To determine the correct view point and angle, the viewing direction of the user is continuously measured via the head-mounted display and merged with the position and orientation of the car.

3 Operation modes

While the user sees a visualisation of digital building models in *live mode* on site via the head-mounted display, the system also records all sensor and image data persistently. This allows for a later *replay mode* of the data, off-site, e.g. in the office. Inside the rendering engine, the video image, sensor data and 3D models are only ever merged during real-time playback, irrespective of whether the sensor and image data comes from a live setting or from disk. This saves recording and rendering costs. Moreover, viewpoints of special interest can be quickly accessed like chapters on a DVD, so users such as developers and real estate agents could easily use it for their sales communication.

Figure 2 provides an overview of the currently supported Auto AR operation modes with head mounted displays (HMD). Please note that the graphic does not include the often requested traditional video export which is a 2D end-product that does not require a HMD.

On-site and office operation frequently switches between live (and relive) experience and video recording to get the required views of the buildings, e.g. for later presentation to members of the board, or other stakeholders.

A third major mode is a mobile "take-away" solution for less capable but wireless HMDs like the Samsung GearVR or Google Daydream. This is the only time that we render the AR into the video for HMD use, as the hardware is not strong enough for real-time view. However, as this mobile solution is often used without technical support, e.g. with a manager taking it to a meeting, this reduction of complexity is actually preferred in this case, as it makes it easier to use.

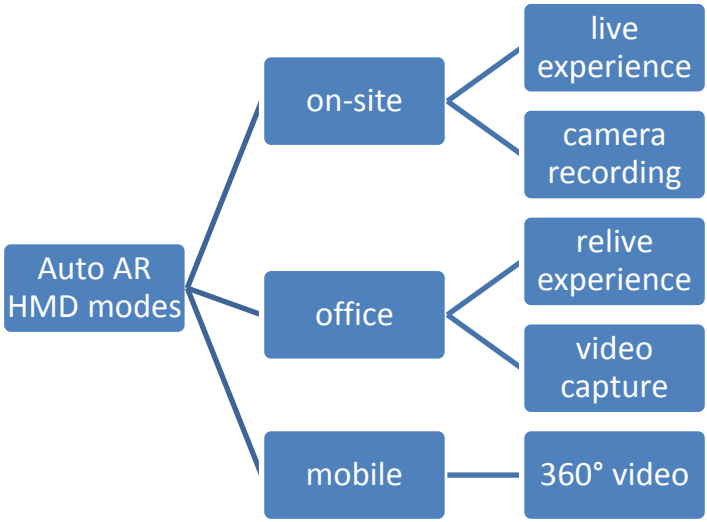


Figure 2: Auto AR operation modes with head-mounted displays.

4 Workflow

The first step is to prepare BIM model data provided by architects for real-time visualisation, including geo-referencing. The system is then used in live mode on site as shown in figure 3. The user, who is presented the live view of the model on the head mounted display, directs the driver to interesting areas of the construction ground, or the team follows a pre-defined script. The system records the panoramic video and sensor data during selected routes and later post-processes the video for improved visual quality.

Finally, the system is used in replay mode to demonstrate the visualisation to a wider audience. Users again use the head mounted display, while a mirrored view allows by-standers to experience the exact same viewing angle on a large screen. The mirrored view facilitates discussions and allows to record a (non-panoramic) video for distribution.

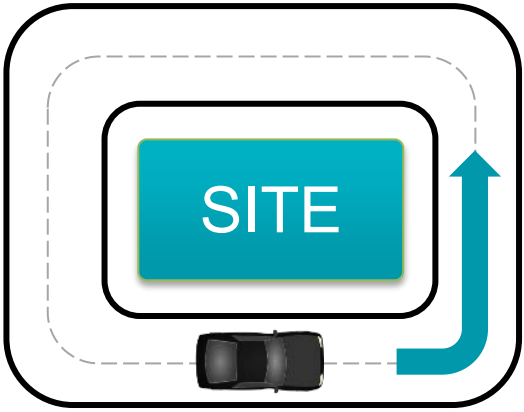


Figure 3: Site survey.

5 Use-cases

There are numerous use-cases where the immersive visualisation of architectural data is beneficial. Exemplary, alternative designs can be presented to committees and decision makers, or allow for public participation processes to support the much demanded improved communication of plans. It allows to gain insights e.g. regarding the proximity or the look-and-feel of a new building or its facade to other, existing buildings. During use, our system allows to interactively switch between variations of BIM model data, such as different entrances or facades that could not be agreed on without seeing them in the context of the surrounding area. This allows for more targeted discussions and better decisions on site, and also remotely later while replaying the recorded data.

If building plans have to be changed again, the previously recorded panoramic video footage can be easily re-used, because the visualisation is separated from the background video.

In addition to the exterior view of the building from the panoramic camera perspective, it is also possible to leave the pre-defined track and walk into the buildings. Thus, stakeholders including architects, BIM managers, building owners, investors, and future tenants benefit from a much improved spatial understanding of the three-dimensional plans and can also quickly try out different designs and variations for the interior plans.

Figures 4 and 5 provide some impressions of model visualisations with Auto AR from actual client work.

Figure 4: Impressions of Auto AR visualisations for Fiducia GAD[1].

The use-case with Fiducia GAD (see figure 4) shows a complex campus rebuild with partial tear-down of existing structures. While the architects provided comprehensive indoor visualisations in form of videos and stills, and a scale model in a glass cabinet, it was still hard to understand for the decision makers. The client wanted to better understand how the rebuild would look like from different perspectives on campus and from the streets, and how it would fit into the built environment. This naturally incorporated environmental views with neighbouring buildings in sight for which no 3D models exist (or were not available to us within time and budget). Here, the 360° panoramic video provided a quick and easy way to capture the surroundings and see the buildings in a larger context.

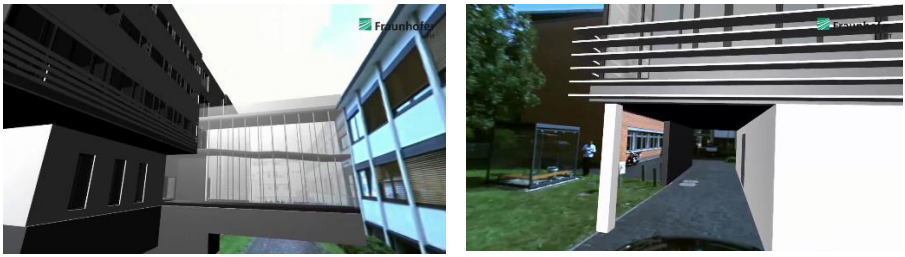


Figure 5: Impressions of Auto AR visualisations for Fraunhofer IZB[2].

The Fraunhofer IZB use-case shows the planned new building at the campus entrance which will replace an existing 1986 building. A special emphasize for this visualisation was to show the connection and also the proximity to the remaining existing buildings in the immediate surrounding (see figure 5).

Videos of both use-cases have been used to communicate the planned buildings to employees and members of the public.

[1] Video: https://www.youtube.com/watch?v=M-XQJCCq5lg

[2] Video: https://www.youtube.com/watch?v=YYhplphGZOc

6 Conclusion

The use of AR for BIM has been suggested previously [5], but no one has really applied it to the process so far. Auto AR is a car-based setup that can easily be driven to any construction site or development area to quickly capture views of the planned construction project. A panoramic camera is mounted on the car's roof-top, together with high-precision position and orientation sensors connected to a workstation in the car. The user sits on the passenger's seat, wears a head-mounted display connected to the workstation and sees a live-view of the panoramic camera according to the user's head movement, together with the virtual buildings superimposed on top of the panoramic video. All image and sensor data is persistently recorded and can be used during off-site review session with a wider audience or to produce videos for large-scale distribution. The system allows to interactively switch between different variants of building models and facilitates discussions in various scenarios among all participating stakeholders of the construction process.

In essence, and regardless of using it with HMDs or with a video, Auto AR supports better understanding of planned buildings on site. Typical use-cases are:

- Complex -down and rebuild of existing campus
- Facade in context of surrounding buildings tear
- Proximity to other buildings and their uses

We found that existing 3D data from Building Information Modelling is well suited for our system. The core work with Auto AR usually just takes between days and weeks – depending on the complexity of the model and the extent of the client's order.

More information: http://www.fit.fraunhofer.de/mars

References:

[1] *"Government Construction Strategy - Publications - GOV.UK." [Online]. Available: https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy. [Accessed: 06-Aug-2015].*

[2] *"BMVI - Pressemitteilungen-Abschlussbericht der Reformkommission Großprojekte." [Online]. Available: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2015/060-dobrindt-reformkommission.html. [Accessed: 06-Aug-2015].*

[3] *F. P. Brooks Jr., "Walkthrough—a Dynamic Graphics System for Simulating Virtual Buildings," in Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics, New York, NY, USA, 1987, pp. 9–21.*

[4] L. Oppermann, M. Shekow, and D. Bicer, "Mobile Cross-Media Visualisations made from Building Information Modelling Data," in MobileHCI 2016 Adjunct Proceedings, Florence, Italy, 2016, pp. 823–830.

[5] X. Wang and P. E. Love, "BIM + AR: Onsite information sharing and communication via advanced visualization," in 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2012, pp. 850–855.

Produktentwicklung & kollaborative VR

Konfiguration und Auslegung kundenspezifischer Produkte in einer VR-Umgebung

Gebert, M.[1]; Steger, W.[1]; Stelzer, R.[1]; Bertelmann, K.[2]

[1] TU Dresden, Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD

[2] FAB Bertelmann Technologie

Abstract

Der Beitrag beschreibt die Entwicklung eines Tools, mit dem ohne besonderen Aufwand eine Virtual-Reality-(VR-)Präsentation des aktuellen Standes in einem Entwicklungsprojekt möglich ist. Das VR-Tool ergänzt im Entwicklungsprozess verwendete CAD- und Simulationsprogramme um ein Visualisierungsmodul. Es ermöglicht mit aktuellen Geometrie- und Berechnungsdaten eine unmittelbare Visualisierung in virtuellen Umgebungen. Basis des entwickelten Tools ist ein Metamodell, welches aus den Daten unterschiedlicher Anwendungsprogramme erzeugt wird. Das Konzept und die Realisierung des Tools werden am Beispiel eines Konfigurators für Energieanlagen beschrieben.

1 Einleitung

Reviews virtueller Modelle im Umfeld des Maschinenbaus sind heutzutage ein essentieller Bestandteil der Produktentwicklung. Sie geben den Nutzern im Vorfeld der Fertigung von Prototypen und finalen Produkten ein glaubhaftes Feedback zur Produktreife.

Geometrien von Produkten lassen sich seit einigen Jahren mittels VR visualisieren und auf ihre Funktionalität prüfen. Die Vorteile gegenüber der Darstellung auf herkömmlichen Displays liegen in der räumlichen Wahrnehmung des größenechten Modells und der natürlichen Interaktion durch den Betrachter.

Für die Vorbereitung eines Reviews in VR muss ein hoher zeitlicher und personeller Aufwand eingeplant werden, sodass sich derartige Untersuchungen häufig nur bei Erreichen von Entwicklungsmeilensteinen lohnen. Durch den Zeitaufwand für die Modellvorbereitung repräsentieren die zugrundeliegenden Daten zum Zeitpunkt des Reviews oft nicht mehr den aktuellen Entwicklungsstand. Aufgrund hoher Kosten für professionelle VR-Technik ist diese in der Regel nur für große Konzerne finan-

zierbar. Die finanziellen Hürden werden durch die zunehmende Verbreitung preisgünstiger Head Mounted Displays (HMD) wie Oculus Rift, HTC Vive oder PlayStation VR allerding derzeit deutlich gesenkt.

Bezüglich der Datenaufbereitung im Vorfeld eines VR-Reviews besteht weiterhin hoher Entwicklungsbedarf. Dies liegt in den großen Datenmengen komplexer Modelle und den zahlreichen Anwendungen begründet, die für unterschiedliche Berechnungen und dafür geeignete Darstellungen von Ergebnissen nötig sind. Die Software-Vielfalt bedingt eine ebenso große Zahl an Visualisierungs- und Interaktionsmetaphern, die von Entwicklern und Nutzern der Anwendungsprogramme im Lauf der Entwicklung ausgestaltet werden. Um Geometrie- und Berechnungsmodelle sowie zugehörige Berechnungsergebnisse gemeinsam zu betrachten, bedarf es daher eigens entwickelter Datenstrukturen und Integrationsbausteine.

Den ausgeführten Problemen wird im Rahmen eines Forschungsprojektes mit einem geeigneten Strukturmodell begegnet. Es bietet folgende Lösungen an:

- Reduktion der Datenaufbereitungszeit
- Überlagerung von Geometriedaten mit Simulationsberechnungen
- automatisierter Datentransfer in ein VR-Werkzeug zur Visualisierung vielfältiger Daten für den kooperativen Review-Prozess

2 Verwandte Forschung

VR ist ein verbreitetes Werkzeug für Design Reviews, mit dessen Hilfe Nutzer ein zukünftiges Produkt als virtuellen Prototypen erleben und bewerten können. Hochqualitative Projektionen und Modelle in Echtgröße sowie die steigende Integration von Simulation und Interaktion erlauben eine nahezu realitätsnahe Wahrnehmung des virtuellen Prototyps.

Der Standard DIN EN 61160 [1] definiert das Design Review als "geplante, dokumentierte unabhängige Bewertung einer existierenden Konstruktion oder eines vorgeschlagenen Konstruktionsentwurfs". Problemstellen im Design werden erkannt und dokumentiert. Auf dieser Grundlage werden geeignete Maßnahmen zur Lösung der Probleme festgelegt.

Trotz aller Erwartungen und generell positiver Erfahrungen im Einsatz werden VR-gestützte Design Reviews auch kritisch betrachtet. Mögliche Schwierigkeiten sind folgende:

- *Enormer Aufwand der Modellierung von nativen Geometrie-, Material- und Umgebungsdaten.*

  Der Aufwand lässt sich reduzieren, indem VR nicht als finaler Schritt der Darstellung, sondern vielmehr als integrativer Bestandteil der Entwicklungsstufen

verstanden wird. VR-Szenarien und die zugrundeliegenden Daten müssen in einem gemeinsamen Produktdatenmanagement-(PDM) Konzept verwaltet werden. Auf diese Weise lassen sich jederzeit Präsentationen mit aktuellem Datenbestand generieren [2].

- *Zweifel an der Validität der gewonnenen Erkenntnisse, „simple" Interaktion mit virtuellem Prototyp, mangelnde Werkzeuge zur Dokumentation von virtuellen Reviews*

  Individuelle Empfindungen in VR-Szenarien werden untersucht und Parameter, welche die VR-Repräsentation beeinflussen oder verbessern, werden ermittelt. Die konsistente Beurteilung virtueller Prototypen wird sich daher permanent verbessern (Renner et al., 2015).

  Werkzeuge zur Aufnahme und Wiedergabe von Interaktionssequenzen in VR-Umgebungen wurden entwickelt, um Bewertungsvorgänge in geeigneter Weise zu dokumentieren [3].

- *Unzureichendes und/oder aufwendiges Bewertungsfeedback im Produktentwicklungsprozess*

  VR-Systeme enthalten eine zunehmende Zahl an Optionen zur Speicherung ausgewählter Zustände von Reviews. Zusätzliche Werkzeuge [4] werden erwartet, welche das Erstellen, Speichern und Verteilen von Anmerkungen während der VR-Sitzung ermöglichen und innerhalb der Ingenieurabteilungen verwertet werden können.

Die zuvor genannten Schwierigkeiten werden von der Verfügbarkeit angepasster Nutzerfunktionen entscheidend abhängen und womöglich aufgehoben [5]. Lorenz et al. [6] präsentieren eine Möglichkeit zur automatisierten Konvertierung von CAD-Daten für ein VR-System und verkürzen somit die nötige Zeit zur Datenaufbereitung eines Design Reviews.

Dieser Beitrag beschreibt eine Lösung zur integrierten VR-Modell-Generierung, die sowohl relevante Simulationsdaten enthält als auch den Aufwand zur Datenaufbereitung zusätzlich verringert. Zu diesem Zweck wird ein Metamodell eingeführt, welches um vielfältige Zusatzinformationen erweitert werden kann.

3 Entwicklungsparallele Visualisierung

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen entwicklungsbegleitend digitale Produktmodelle visualisiert werden. Zu den Produktmodellen gehören neben Geometrie- auch Simulations-, Berechnungs- und PDM-Daten. Alle Daten sind in einem zu entwickelnden Werkzeug verständlich darzustellen, um sie mittels VR-Techniken erleben und kooperativ untersuchen zu können. Die Entwicklung der nachfolgend ‚VR-Tool' genannten Software ist ebenso Bestandteil des Forschungsvorhabens

wie die Entwicklung eines Modells, aus dem das VR-Tool die Informationen bezieht und die VR-Präsentation aufbaut. Im Ergebnis sollen sogenannte Mixed Reviews ermöglicht werden, in denen Nutzer Head-Mounted-Displays (HMD) und 3D-Displays gleichzeitig nutzen, ohne in ihrer Kommunikation eingeschränkt zu werden.

3.1 Metamodell-Konzept

Basis des VR-Tools ist ein Strukturmodell mit allen Informationen, um die im Entwicklungsprozess generierten Datenbestände unterschiedlicher Anwendungsprogramme zu integrieren bzw. zu verknüpfen. Ein solches Modell kann als Metamodell beschrieben werden, da in ihm die aus verschiedenen Anwendungen stammenden Datenstrukturen vereint werden (s. Bild 1).

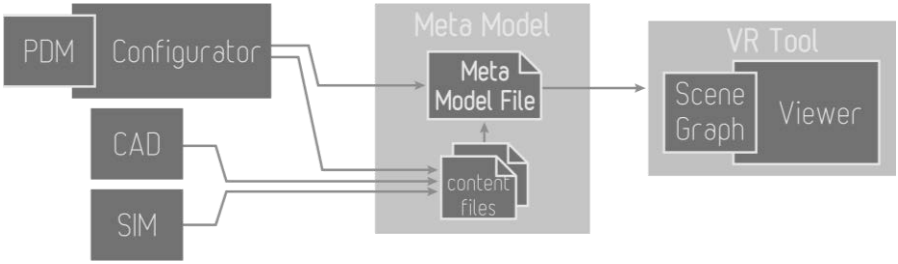


Bild 1: Aktuelles Metamodell-Konzept

Die verknüpften Daten beinhalten im konkreten Fall CAD-Geometrien und verschiedene Berechnungs- und Simulationsdaten. Es sind außerdem Metadaten enthalten, die ein Konfigurationstool bereitstellt, welches als PDM-System verstanden werden kann.

Im konkreten Fall wird das Konfigurationstool um ein Modul zur Generierung des Metamodells erweitert. Es erstellt aus den verfügbaren Informationen eine Datensammlung mit der gesamten Baugruppenstruktur, den Berechnungs- und Metadaten sowie beschreibenden Parametern. Jedem Parameter kann ein Wert oder eine Dateireferenz zugewiesen werden. Die generierte Datei stellt eine Extensible Markup Language (XML-) Struktur dar, mit der sich Hierarchien von Bauteilen als Produktstrukturen vorteilhaft anlegen lassen. Mittels passender Attribute und Werte werden beispielsweise Daten zu Position, Schwerpunkt und Mittelpunkt hinzugefügt.

Weiterhin enthält die XML-Struktur Berechnungsmodelle und Ergebnisplots. Diese werden (wie die Geometrie) wegen der Übersichtlichkeit in die XML-Struktur als Dateireferenzen eingebunden.

Der Szenegraph des Viewers enthält alle Objekte, die Bestandteil einer VR-Szene sind. Durch Parsen der XML-Datei im VR-Tool werden im Szenengraph diese darzustellenden Objekte instanziiert. Die den Bauteilen zugehörigen Dreiecksgeometrien werden als 3D-Objekte geladen und im Szenengraph mit den Metadaten verknüpft. Insbesondere die Identifikationsnummer ist dabei für die eindeutige Zuordnung unerlässlich.

Während eines Reviews werden vielfach Ansichtseinstellungen verändert, z.B. Farbzuweisungen, Transparenzeinstellungen, Schnittansichten, etc. Das VR-Tool enthält bisher keine Option zur Speicherung dieser Änderungen. Die damit einhergehende Veränderung der Strukturdatei ist nicht vorgesehen, um ungewollte Änderungen des Metamodells zu verhindern.

3.2 Generierung des Metamodells

Etablierte CAD-Programme erlauben den Export der parametrischen Modelle im STL-Format (Standard Tessellation Language). Hierbei werden die parametrisch repräsentierten Oberflächen des Modells mittels einer definierbaren Sehnenabweichung durch Dreiecke approximiert. Im betrachteten Fall liefert der Konfigurator neben der ausgehenden CAD-Datei auch eine zugehörige STL-Datei zu jeder Geometrie.

Während der Konfigurator das Metamodell aus den im PDM-System gespeicherten Metadaten erstellt, werden die nötigen STL-Dateien in ein für das VR-Tool geeignetes Datenformat konvertiert und als Content Files im Metamodell referenziert.

Das VR-Tool basiert auf Unity. Unity ist eine leistungsstarke 3D-Rendering-Engine, die inzwischen eine beliebte Grundlage für Forschungsprojekte bildet [7]. Sie besitzt die dafür nötige Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit.

Die Engine ermöglicht leistungsfähige Repräsentationen von 3D-Objekten, beispielsweise im FBX- (*Filmbox*) und Wavefront OBJ-Format. Beide Formate enthalten aus Dreiecken generierte Oberflächengeometrien und sind daher dem STL-Austauschformat ähnlich. Das FBX-Dateiformat, welches weitgehend im Bereich der Animationssoftware genutzt wird, wurde von Autodesk entwickelt [8].

Während der Entwicklung des VR-Tools wurden das OBJ- und FBX-Dateiformat auf ihre Eignung zum Geometrieaustausch zwischen CAD und VR getestet. Spezielle Ausführungen dazu in [9].

Die STL-Daten werden mit Hilfe von Blender konvertiert, da sich die Software komfortabel automatisieren lässt. Ein Python-Skript initialisiert die Batch-Konvertierung aller nötigen STL-Dateien in Blender, wenn der Konfigurator die Metamodell-Datei generiert (s. Bild 2). Mit der Einstellung diverser Parameter in Blender lassen sich Umwandlungsgeschwindigkeit und spätere Ladezeit in Unity optimieren– auf Kosten der Objektauflösung (s. Bild 3).

Materialeigenschaften werden in der Regel im Verlauf der CAD-Modellierung festgelegt, gehen jedoch beim Umwandlungsprozess in das STL-Format verloren. Daher werden die Materialinformationen im Metamodell als Materialattribut gespeichert. Unity generiert anhand dieser Eigenschaften das passende Material und weist es den Komponenten zu.

Die Nutzung des Metamodells und seine Generierung im Konfigurator erlauben den automatischen Transfer von CAD-Geometrien in das VR-Tool und reduzieren die nötige Zeit zur Datenaufbereitung massiv. Die aktuellen CAD-Daten lassen sich zu beliebiger Zeit in VR visualisieren und erleben. Informationen, die für gewöhnlich im Konvertierungsprozess verloren gehen, lassen sich mittels spezieller Attribute im Metamodell übertragen und gezielt ergänzen.

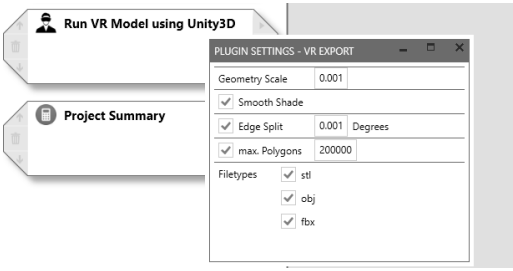


Bild 2: Grafisches User Interface des im Konfigurator enthaltenen STL-Datei-Konverters

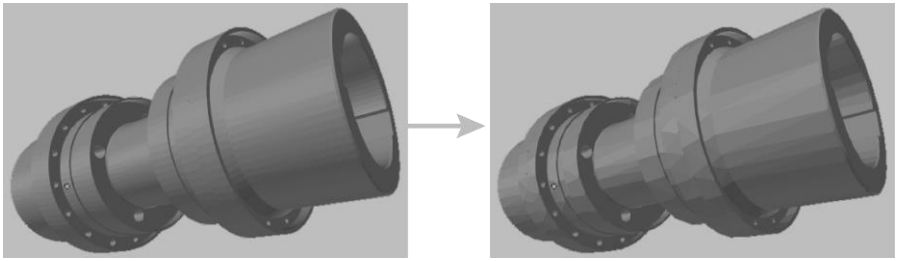


Bild 3: Vereinfachung einer Oberfläche von 20 537 auf 8 000 Dreiecke

3.3 Integrierte Darstellung von Geometrie- und Simulationsdaten

Häufig genügt in Reviews nicht die bloße Betrachtung der Modellgeometrie. Vielmehr werden im Laufe der Produktentwicklung weitere Details untersucht, welche im Review ebenfalls von Relevanz sind und sichtbar gemacht werden müssen.

Oft können Simulationsergebnisse nur innerhalb der sie erzeugenden Anwendung dargestellt werden. Um eine Integration dieser Ergebnisse in einer Ansicht mit den Geometriedaten im Viewer zu ermöglichen, dient erneut das Metamodell. Das Me-

tamodell enthält zusätzlich zur Beschreibung der Baugruppe eine Beschreibung von Ergebnisdaten. Diese sind als Attribute angelegt, die im VR-Tool zur Generierung und Platzierung von Geometrien, Textbausteinen und Abbildungen genutzt werden. Diese Abbildungen stellen Berechnungs- und Simulationsdaten dar und werden als Datei-Referenzen im Metamodell gespeichert.

Im konkreten Fall wird die Visualisierung einer Wellentorsion betrachtet, deren Winkelverdrehung einzelner Querschnitte um die Rotationsachse berechnet wurde. Die Berechnungsdaten werden vom Konfigurator im Metamodell gespeichert. Das VR-Tool ruft diese Informationen ab und färbt die Welle entlang ihres Umfangs verschiedenfarbig ein, sodass die Torsion erkennbar wird (s. Bild 4). Wird die Bewegung zwischen Torsionsmaximum und Nulllage der Welle dargestellt, lässt sich das berechnete Ergebnis mit einer Animation besonders verständlich visualisieren.

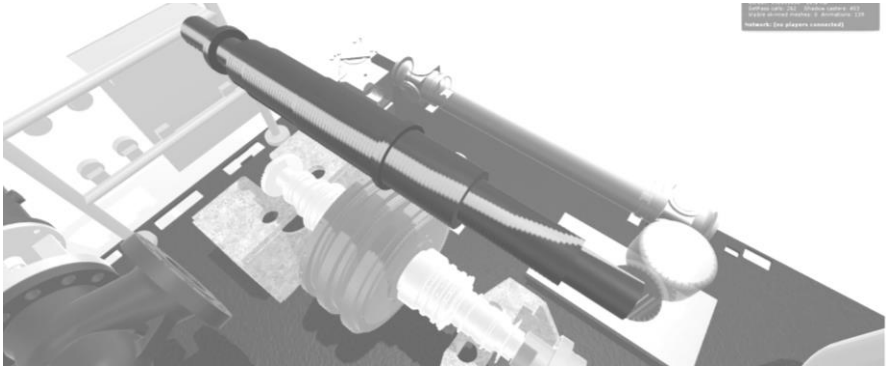


Bild 4: Schattierung diskretisierter Wellensegmente visualisiert Wellentorsion

Des Weiteren lassen sich berechnete Kräfte mittels Vektorpfeilen darstellen (s. Bild 5), für deren Geometrie die nötigen Daten im Metamodell angelegt werden. Die Attribute Farbe, Start- und Endpunkt des Pfeils genügen zur automatischen Generierung des Pfeils. Start- und Endpunkt gehen dabei aus den Berechnungen einer Simulationssoftware hervor und werden vom Konfigurator entsprechend in das Metamodell übertragen. Auf diese Weise lassen sich weitere Grundkörper wie Kugeln oder Zylinder generieren.

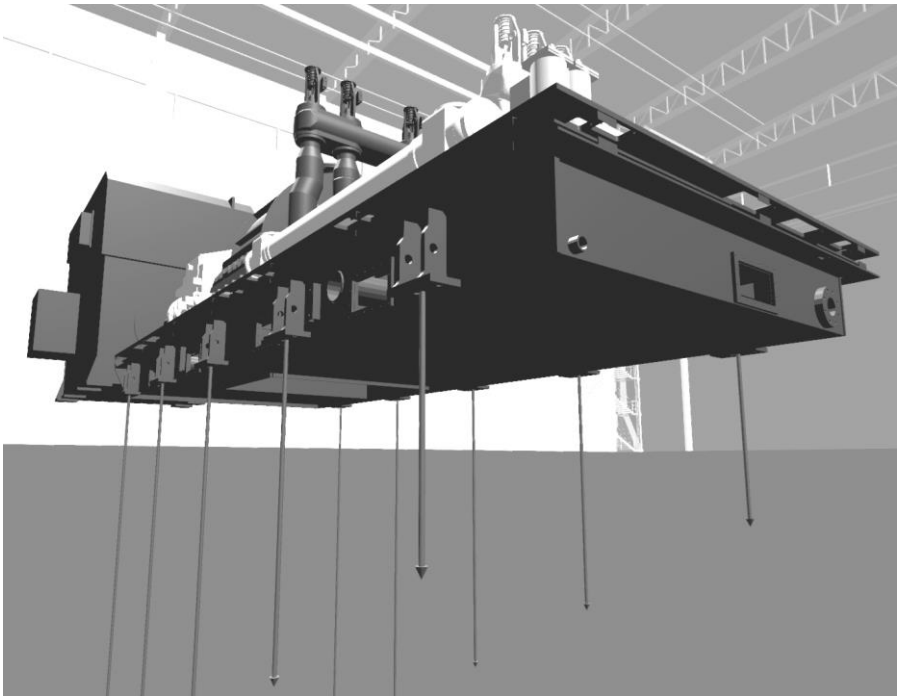


Bild 5: Darstellung der berechneten Lagerkräfte des Fundaments

Das Metamodell kann darüber hinaus mit Daten zur Bewegung von Komponenten erweitert werden, die in einer Animation abgespielt werden können. Dazu wird eine Animation in mehrere Schritte unterteilt, die nacheinander abgespielt oder einzeln angesteuert werden können. Die Schritte enthalten dazu Parameter zur betreffenden Komponente und die Bewegungsrichtung, -zielposition, -drehwinkel und -dauer. In Kombination mit einer schrittweisen Einstellung der Transparenz oder dem Ausblenden relevanter Bauteile lassen sich anschaulich Aus- und Einbauvorgänge zeigen (vgl. Bild 6).

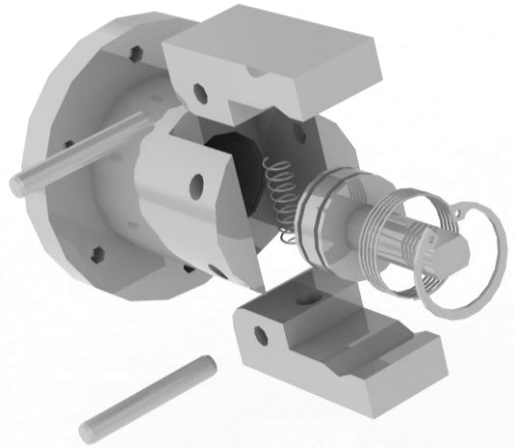


Bild 6: Explosionsdarstellung einer Baugruppe anhand von Metamodelldaten

Grundsätzlich bietet das Metamodell die Möglichkeit, viele Formen von Berechnungsergebnissen gemeinsam mit der Geometrie in VR darzustellen. Entscheidend für die Funktionalität sind festgelegte Metaphern zur Visualisierung verschiedener Daten. Neue Typen von Berechnungsergebnissen bedürfen einer Spezifikation, um sie geeignet in der Szene darstellen zu können.

3.4 Mixed Review

Unity unterstützt die gleichzeitige Darstellung einer Szene auf mehreren Displays. Die Displays zeigen dabei den Szeneninhalt aus verschiedenen, völlig unabhängigen Perspektiven. Für jede Perspektive lassen sich außerdem individuelle Darstellungsparameter festlegen. Auf diese Weise können Nutzer bspw. ein Menü bedienen, welches lediglich in ihrer Perspektive sichtbar ist, aber ein für alle sichtbares Bauteil hervorheben, um alle Nutzer darauf aufmerksam machen (s. Bild 7). In diesem Fall verwendet ein Nutzer ein HMD (HTC Vive) (Bild 7 links) und erhält die Vorzüge hoher Immersion (HMD-Ansicht), während andere Nutzer die Szene aus einem davon unabhängigen Winkel auf einem 3D-Bildschirm betrachten können (Desktop-Ansicht).

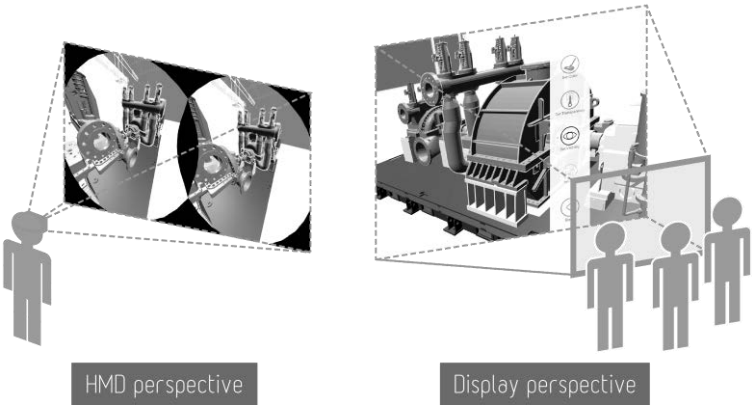


Bild 7: Verschiedene Perspektiven und individuelle Interaktionen in Mixed Reviews

Das VR-Tool kann an einem stationären Display mittels Maus und Tastatur bedient werden. Am HMD werden die beiden HTC Vive Controller verwendet.

Zwei Perspektiven ermöglichen des Weiteren eine getrennte Zuweisung von Eigenschaften wie der Sichtbarkeit eines Objektes. Auf diese Weise kann der Nutzer des HMD die virtuellen Modelle seiner Controller im Display sehen. Sofern andere Nutzer die Controller in ihrer Ansicht (bspw. die Desktop-Ansicht) ausblenden möchten, kann dies im VR-Tool eingestellt werden. Zu diesem Zweck arbeitet das VR-Tool mit Darstellungsebenen. Drei Ebenen werden für die zwei gewünschten Perspektiven im Szenegraph erstellt: Eine Ebene enthält alle in der Szene befindlichen Elemente, während die anderen Ebenen gezielt die Objekte darstellen, welche für die jeweilige Ansicht gewünscht sind. Die Objekte müssen anschließend der korrekten Ebene zugewiesen werden, um den passenden Nutzern angezeigt zu werden. Dies wird dynamisch zur Laufzeit durch entsprechenden Quellcode erreicht.

Das Metamodell wird künftig auch das Mixed Review abbilden, indem Einstellungen und Ergebnisse aus dem Design Review im Metamodell gespeichert werden: Während eines Reviews stellen die Nutzer ihre jeweilige Perspektive individuell ein und verändern die Darstellung des Modells durch Schnittansichten sowie die Färbung und Transparenz von Bauteilen. Um diese Einstellungen sichern und zu gegebener Zeit wieder aufrufen zu können, werden sie im Metamodell gespeichert. Damit wird das VR-Tool zunehmend integrativer Bestandteil des Entwicklungsprozesses und erlaubt ein wichtiges Bewertungsfeedback für Anwender und Ingenieure, die nun die Erkenntnisse umsetzen.

4 Technische Anwendung

Das beschriebene Metamodell entsteht in Zusammenarbeit mit einem Softwaredienstleister, der einen Konfigurator für Energiemaschinen entwickelt. Die Maschinen werden in der Regel vom Dienstleister mithilfe eines Katalogsystems und diverser Auslegungs- und Nachrechnungen individuell zusammenstellt. Über ein neues Feature des Konfigurators möchte der Dienstleister seinen Kunden die Konfiguration im Vorfeld der Bestellung virtuell vorführen. Dabei sollen die Ergebnisse der spezialisierten Auslegungsprogramme in einer integrierten Umgebung dargestellt werden.

Der Aufwand für eine Präsentation der Maschinenkonfiguration ist entsprechend hoch, komplexe Zusammenhänge lassen sich kaum ganzheitlich visualisieren. Mit der weitgehend automatisierten Verknüpfung aller gesammelten Daten in einem Metamodell wird es möglich, aktuelle Datenstände zu visualisieren und diese in einem gemeinsamen Geometriemodell darzustellen. Dank der gleichzeitigen Entwicklung einer Unity-basierten Visualisierungsumgebung lassen sich zudem neueste Technologien zur Darstellung anbinden. Auf diese Weise haben die Kunden des Dienstleisters zukünftig die Möglichkeit, eine ganzheitliche Produktpräsentation in VR zu erleben und kooperativ mit Kollegen die Konfiguration zu evaluieren.

5 Ausblick

Das beschriebene Verfahren eines automatisch generierten Metamodells mit integrierten Geometrie-, Simulations- und Berechnungsdaten erlaubt die direkte VR-Visualisierung eines Produkts parallel zu dessen Entwicklung.

Das in Abschnitt 3.4 beschriebene Mixed Review erlaubt zukünftig die Speicherung der im VR-Tool vorgenommenen Einstellungen. Statt dabei die aus dem Konfigurator stammenden Ausgangsdaten im Metamodell zu ändern, sollen die Informationen als Zustände (States) auf dem gleichen hierarchischen Level wie Bauteile angelegt werden. Dabei wird die Verwendung von Identifikationsnummern der Bauteile eine tragende Rolle spielen, da bspw. zugewiesene Farben im State mithilfe dieser Nummer den betreffenden Bauteilen zugeordnet und im Viewer abgerufen werden.

Wird das Metamodell über den Konfigurator aktualisiert, können die States beibehalten und somit auf aktualisierte Datenstände angewandt werden. Konkret ergibt sich daraus die Möglichkeit, eine revisionsbedürftige Komponente zu markieren und in einem späteren Review unmittelbar ihre neue Revision zu begutachten.

Der Viewer erlaubt bisher die gleichzeitige Ausgabe der Szene auf einem HMD und einem weiteren Display. Durch die Integration von Avataren, die einen HMD-Nutzer im virtuellen Raum darstellen, sind mehrere HMD-Träger im selben Tracking-Bereich denkbar [10]. Durch die Anwesenheit virtueller Avatare wird die Interaktion

zwischen den Nutzern ermöglicht und eine kollisionsfreie Bewegung im Raum gewährleistet. Dabei ist auch die Ausweitung des Rollenmodells auf Interaktionsräume an verschiedenen Orten denkbar

Literaturangaben

[1] DIN EN 61160, Entwicklungsbewertung (engl. Titel Design Review), 2005

[2] Stelzer, R., Steger, W., Petermann, D.: The VR Session Manager: A Tool to Co-Ordinate a Collaborative Product Development Process in a Virtual Environment. In Proc. ASME. 45011: 32nd Computers and Information in Engineering Conference, 2012

[3] Renner, R. S., Steindecker, E., Müller, M., Velichkovsky, B. M., Stelzer, R. H., Pannasch, S., Helmert, J. R.: The influence of the stereo base and its adjustment on sighted and blind reaches in a virtual environment. In: ACM Transactions on Applied Perception, Vol. 2, Issue 2, Article 7, New York, 2015

[4] Schwarz, O., Zupke, O.: bee® – Eine Software zur Integration von VR im Planungs- und Montageprozess. In: Tagungsband Entwerfen Entwickeln Erleben, *ISBN 978-3-944331-66-9, TUDpress, 2014*

[5] Kunz, A., Wegener, K.: Die Mensch-Maschine-Schnittstelle als Schlüsselelement für VR/AR-Anwendungen. In: 3. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung an der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz, 2015

[6] Lorenz, M., Spranger, M., Riedel, T., Pürzel, F., Wittstock, V., Klimant, P.: CAD to VR - a methodology for the automated conversion of kinematic CAD models to virtual reality. In: Procedia CIRP 41, 2015

[7] Sivanathan, A., Abdel-Wahab, M., Bosche, F., Lim, T.: Towards A Cyber-Physical Gaming System for Training In The Construction And Engineering Industry. In: Proc. ASME.: 34th Computers and Information in Engineering Conference, 2014

[8] Autodesk Inc.: Adaptable file format for 3D animation software FBX Overview. <http://www.autodesk.com/products/fbx/overview> [29.9.2017]

[9] Gebert, M.; Steger, W.; Stelzer, R.; Bertelmann, K.: Meta-model for VR-based design reviews: In: Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED17), Vancouver, 2017

[10] Brekelmans, J., Mooij, J.: Collaborative VR experiment with multiple Valve/HTC Vive headsets", VR Perception Blog, <https://vrperception.com/2016/01/15/collaborative-vr-experiment-with-multiple-valvehtc-vive-headsets/> [29.9.2017]

Praxisbeispiel zu Anwendungen von Mixed Reality in Produktion und Gebäudebetrieb

Korzetz, M,[1]; Schuster, B.[2]

[1] Technische Universität Dresden, Software Technology Group

[2] N+P Informationssysteme GmbH, Meerane

Abstract

Durch den wachsenden Einsatz von Sensoren und Aktoren werden Fertigungssysteme und Gebäude intelligenter. Sie können Informationen zu ihrem aktuellen Zustand, zu Problemen, aber auch konkrete Handlungsempfehlungen geben. Mixed Reality-Technologien können dabei helfen, diese dabei anfallenden Daten geeignet verfüg- und begreifbar zu machen, so dass Arbeitsabläufe besser unterstützt werden können. Das Forschungsprojekt „CyPhyMan“ untersucht praxistaugliche Konzepte für Mixed Reality im Kontext von Produktion und Facility Management. Im Rahmen des Projektes wurden Anwendungsklassen für den Einsatz von Mixed Reality erarbeitet, welche in diesem Beitrag vorgestellt werden. Darüber hinaus wurden für die Microsoft HoloLens verschiedene Prototypen konzipiert und umgesetzt, welche veranschaulichen wie Maschinen- und Gebäudedaten mit Hilfe von Mixed Reality visualisiert und mit ihnen interagiert werden kann.

1 Einleitung

Getrieben durch das Thema Industrie 4.0 durchdringen Mixed Reality (MR)-Technologien in den letzten Jahren die Produktionstechnik, beispielsweise als Assistenzsystem für Montagearbeiter [1]. Auch das Facility Management (FM) kann von diesen Entwicklungen profitieren. Das FM umfasst Prozesse des Gebäudebetriebs, der Vertragsverwaltung bis hin zur Wartung von Anlagen. Technische Anlagen wie Fertigungsstraßen und Maschinen sind zentrale Bestandteile einer Produktionskette. Gebäudebetriebliche Aspekte wie Räume mit ihrer Ausstattung und Nutzung, Verwaltung von Schlüsseln und Nutzern, aber auch die Gebäudeausrüstung (z.B. Brandmelder, Wärme- und Aufzugtechnik) sind mit Produktionsabläufen eng gekoppelt. Derartige „Facilities“ werden zunehmend mit Sensoren und Aktoren bestückt, Gebäude und darin enthaltene Fertigungssysteme werden miteinander vernetzt und intelligenter. Die daraus resultierenden Daten können genutzt werden um Nutzer, wie Gebäudebetreiber, Produktionsleiter oder Techniker situationsge-

recht mit Informationen zu versorgen. So können beispielsweise Produktionsleiter mit Echtzeit-Produktionsständen, Arbeiter mit Anleitungen für Rüstvorgänge und Techniker mit Gebäude- und Leittechnikinformationen unterstützt werden. Dabei ist die Art und Weise der Informationsvermittlung entscheidend, um die Nutzer nicht in ihren primären Aufgaben zu behindern. Die Anwendung von MR bietet die Möglichkeit, wichtige Informationen und Abläufe in einen räumlichen Zusammenhang zu stellen und verständlich zu präsentieren. Speziell durch MR-Brillen bleiben zudem die Hände der Nutzer frei, so dass diese für andere Handlungen genutzt werden können. Das Forschungsprojekt „CyPhyMan“ (Cyber-Physical Manufacturing Facility Management) adressiert diese Themen und untersucht u.a. den Einsatz mobiler Interaktionstechnologien, speziell MR-Brillen, im Schnittbereich von Produktion und FM. Solche Technologien können beispielsweise existierende Displays, Steuergeräte, Räume, Werkzeuge, Produkte oder sogar Menschen um zusätzliche Informationen erweitern („MR Facilities“). MR-Anwendungen ermöglichen ein immersives und interaktives Erleben dieser Facilities. Natürliche Interaktionstechniken, wie Gesten und Sprache, erlauben es Nutzern, verborgene Informationen und Funktionen zu erkunden. Darüber hinaus kann auch die Steuerung von realen und virtuellen Facilities ermöglicht werden.

2 Hintergrund und verwandte Arbeiten

Mixed Reality (MR)-Technologien haben sich in den letzten Jahren enorm weiterentwickelt. Konzepte und Anwendungen für den privaten aber auch den industriellen Bereich etablieren sich immer mehr. MR umfasst das Überblenden der physikalischen mit der digitalen Welt. Die Wahrnehmung des Nutzers sowie auch seine Interaktionsmöglichkeiten mit der realen Welt werden erweitert. Dabei wird die reale Welt mit virtuellen Objekten und Informationen angereichert, häufig mit visuellen Komponenten [2, 3]. MR erstreckt sich dabei von Augmented Reality (AR) bis hin zu Virtual Reality (VR) (siehe Bild 1). Mittels AR können Nutzer sowohl die reale als auch die virtuelle Welt wahrnehmen; VR hingegen präsentiert ausschließlich eine synthetische Welt. Je nach Anwendungsszenario siedelt sich eine mögliche MR-Anwendung entweder näher an der AR oder VR an: So können reale Maschinen oder Gebäude(-teile) um digitale Informationen angereichert, als auch komplexe Produktionsketten vollständig virtuell simuliert werden.

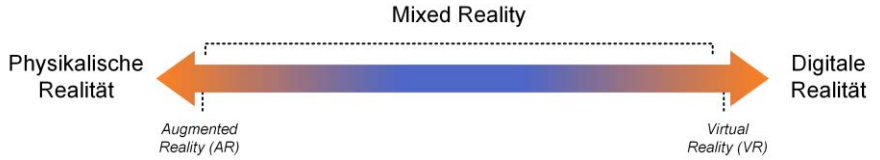


Bild 1: Das Spektrum von Mixed Reality (nach Milgram et al. [3])

MR-Anwendungen finden in vielen verschiedenen Bereichen Einsatz: als Museumsguide um Hintergrundwissen zu vermitteln [4, 5], für Aus- und Weiterbildungszwecke [6] oder um Touristen in Form eines Reiseführers zu unterstützen [7]. Auch für den Einsatz im industriellen Umfeld existieren Ansätze, z.B. zur Unterstützung bei Diagnosen, Wartungs- und Montagevorgängen [1, 8–10]. Ein Großteil der MR-Anwendungen sind für Mobilgeräte wie Smartphones und Tablets konzipiert. Darüber hinaus erlauben Brillen wie die HoloLens[1] oder die Meta 2[2] mit ihrer eingebauten Sensorik das Verarbeiten von Tiefendaten der realen Umgebung und ermöglichen ein immersives Erleben der gemischten Realität, bei dem die Hände des Nutzers für andere Aufgaben frei bleiben können. Mit Hilfe natürlicher Interaktionen, wie Hand- und Körpergesten oder auch Sprachinteraktion, können Anwendungen für MR-Brillen möglichst intuitiv und komfortabel bedient werden [11, 12].

3 Anwendungsklassen für Mixed Reality

MR-Anwendungen bieten die Möglichkeit, digitale Informationen mit der physischen Welt zu überlagern. Mit Hilfe von mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets, aber auch AR- oder VR-Brillen können zusätzliche Informationen zu MR Facilities digital eingeblendet werden. Im Anwendungsbereich von Produktion und Gebäudebetrieb lassen sich für den Einsatz von MR fünf verschiedene Anwendungsklassen unterscheiden (siehe Bild 2).

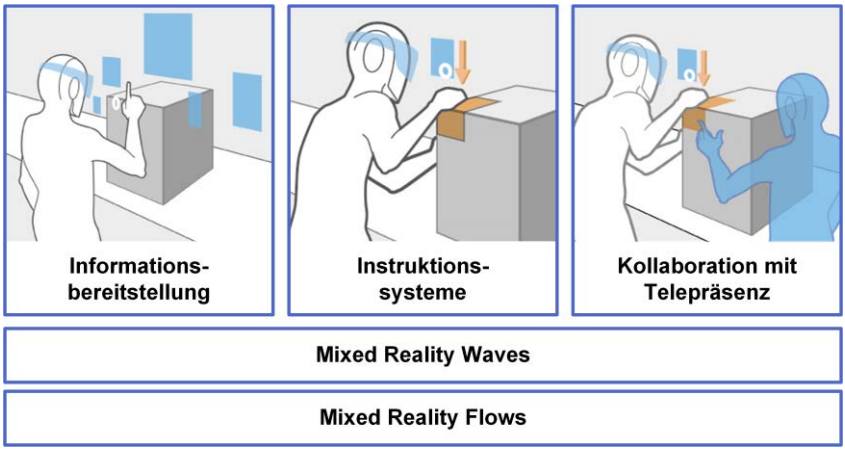


Bild 2: Klassen für Mixed Reality-Anwendungen im Produktion und Gebäudebetrieb

[1] https://www.microsoft.com/hololens

[2] https://www.metavision.com/

Sie reichen von der einfachen Informationsbereitstellung bis zur Unterstützung von komplexen Arbeitsabläufen und beziehen sich damit auf den Grad der Integration und den Zweck der digital eingeblendeten Elemente.

3.1 Informationsbereitstellung

Diese Klasse bildet Anwendungen ab, bei der verschiedenartige Informationen zu Realweltobjekten bereitgestellt werden, die eine einfache Auskunft zum jeweiligen Objekt geben, aber auch bereits einfache Auskünfte zur Nutzung umfassen können. Reale Objekte bzw. Facilities, wie beispielweise eingebaute Brandmelder in Gebäuden oder Maschinen in einer Produktionshalle, werden mit digitalen Informationen virtuell überlagert. Das können spezifische Facility-Eigenschaften (z.B. Bezeichnung, Baujahr, Anlagentyp) oder Zustandsinformationen der jeweiligen Facility (z.B. Störungs- und Wartungsinformationen, produzierte Stückzahlen) sein. Auch die Anzeige zur Verortung von einzelnen Facilities und Facility-Elementen, z.B. zur Unterstützung bei Inventuren, sowie einfache Hinweise zur Benutzung von technischen Anlagen finden sich in dieser Klasse.

3.2 Instruktionssysteme

Ein Instruktionssystem nutzt MR, um Hilfestellungen zu komplexen Abläufen zu geben. Es arbeitet mit Ortserkennung und sollte Nutzeraktionen erkennen können, um Korrekturen und Anweisungen bereitzustellen. Anwendungen dieser Klasse gehen über die reine Informationsbereitstellung hinaus, da sie dem Nutzer zusätzlich Verbesserungsvorschläge und Empfehlungen geben und damit konkrete Handlungsmöglichkeiten bieten. Für konkrete Aufgabenstellungen wird mittels MR die Schrittfolge einzelner Tätigkeiten in Form von Text oder auch zwei- und dreidimensionaler graphischer Anleitung vorgegeben. Zeitgleich erfolgt hierbei eine Qualitätsprüfung, ob die richtigen Schritte und auch die Schritte selbst korrekt ausgeführt werden. Einarbeitungszeiten können damit verkürzt und auch Fehler bei z.B. gelegentlichen Prüfaufgabenstellungen reduziert werden. So können beispielsweise fachunkundige Mitarbeiter in Montage- und Rüstvorgängen unterstützt werden, Wartungsabfolgen digital begleitet und das korrekte Anbringen von Bauteilen an bestimmten Stellen sichergestellt werden.

3.3 Kollaboration mit Telepräsenz

Neben den Möglichkeiten der grundlegenden Informationsbereitstellung und Instruktionssysteme, kann es notwendig und sinnvoll sein, einen Experten zu kontaktieren. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn Fachkenntnisse oder Erfahrungswissen fehlt oder ein Nutzer unsicher bezüglich der nächsten Handlungsschritte ist. In solchen Fällen kann ein entfernter Kollege, ein erfahrener Techniker

oder ein Weisungsbefugter konsultiert werden, ohne dass dieser erst Zeit für eine Anreise einplanen muss. Eine kollaborative MR-Anwendung ermöglicht ein virtuelles Meeting zur gemeinsamen Entscheidungsfindung und zum Wissensaustausch. Ein MR-Gerät bietet dabei die Möglichkeit mit den Augen des Hilfesuchenden zu sehen und gezielt Hinweise in Form von Anweisungen z.B. mit Hilfe von digitalen Markern zu geben.

3.4 Mixed Reality Waves

MR Waves stellen eine querschneidende Anwendungsklasse dar, da sie mit den zuvor vorgestellten Klassen kombiniert werden können. Sie integrieren die Funktionalitäten der Informationsbereitstellung, der Instruktionssysteme und der Kollaboration, um komplexere Kommunikations- und vor allem Kollaborationsszenarien abzubilden. Anwendungen dieser Klasse besitzen eine Historie bzw. ein Gedächtnis, auf welches zu beliebiger Zeit im Bearbeitungsverlauf zugegriffen werden kann. In Einzel- oder Mehrbenutzer-Szenarien kann damit der Informations- und Entscheidungsweg zurückverfolgt werden, was die aktuelle Kommunikationsaufgabe unterstützen kann. Jedes Ereignis und jede Nachricht werden zeitlich protokolliert und dabei in Hierarchien mit Teilschritten und parallelen Aktivitätssequenzen arrangiert. Alle Kommunikationspartner haben dabei Zugriff auf die gemeinsame Wissensbasis. Bei MR Waves kann es sich auch um asynchrone Kollaborations- und Entscheidungsvorgänge handeln, an denen mehrere Parteien parallel, aber unabhängig voneinander beteiligt sind. So können beispielsweise Begutachtungsprozesse, das kollaborative Ausfüllen von relevanten Dokumenten sowie Termin- und Abstimmungsprozesse unterstützt werden.

3.5 Mixed Reality Flows

Die Anwendungsklasse der MR Flows bildet die Verkettung verschiedener MR- und Hintergrundsystemaktionen ab. Sie ermöglichen in vielen Bereichen eine flexible Beschreibung von Geschäftsprozessen und allgemeineren Abläufen in der Produktion und im FM. Solche Workflows bieten eine flexible, aber auch verständliche Abbildung von Abläufen und Geschäftsprozessen und können für die Workflow-basierte Unterstützung z.B. bei Wartungs-, Rüst- und Bestückungsvorgängen genutzt werden. Während ein Meeting einen ad-hoc Workflow mit gemeinsamen Entscheidungen darstellt, kann ein MR Flow weitere, komplexere Workflows unterstützen, z. B. die Einbindung in Produktions-, Gebäudebetrieb- oder Geschäftsprozesse. Dabei können die aktuellen Abläufe und Zustände sowie auch Informationen aus der Vergangenheit entlang der zugehörigen MR Wave genutzt werden, um die entsprechenden Workflows zu visualisieren, komplexere Entscheidungen zu treffen und gegebenenfalls steuernd in die Workflows einzugreifen. Dazu zählt beispielsweise das Freigeben von Werkstücken nach Inaugenscheinnahme oder die Auslö-

sung und Durchführung von Wartungsprozessen, inklusive der Bestellung von Ersatzteilen oder Dienstleistungen Dritter.

4 Fallbeispiele und Anwendungsprototypen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „CyPhyMan“ wurden mehrere Prototypen aus dem Bereich Produktion und Gebäudemanagement umgesetzt [13], um die vorgestellten MR-Anwendungsklassen zu veranschaulichen und erste MR-Konzepte bei Fachpublikum zu testen. Sie basieren auf der Microsoft HoloLens-Technologie und wurden auf verschiedenen Fachmessen präsentiert. Wesentliche Voraussetzung für alle Prototypen sind aktuelle Gebäude- und Echtzeit-Produktionsdaten, welche von einem entsprechenden Hintergrundsystem verarbeitet und geliefert werden. Die prototypischen HoloLens-Anwendungen setzen auf den Microsoft-Richtlinien für das MR Interaction Design auf und nutzen u.a. die von der Technologie bereitgestellten Basisfunktionalitäten.

4.1 Erweiterter Kaffeeautomat und Roboter

Bild 3: Demonstrator zur INservFM-Messe – Maschinenstatus mit Lebenslaufinformationen eines Kaffeeautomaten (links); Demonstrator zur intec-Messe – Leichtbauroboter mit eingeblendeten Informationen zu einzelnen Komponenten (rechts)

Häufig steht man als Produktionsleiter, Anlagentechniker oder Gebäudebetreiber vor einer technischen Anlage und benötigt zusätzliche Informationen zu ihr. Mittels AR können diesen Nutzern zusätzliche Informationen entsprechend ihrer Aufgabe eingeblendet werden. Bild 3 (links) zeigt einen Kaffeeautomaten, bei dem zusätzliche Informationen bei Bedarf virtuell bereitgestellt werden. Der Kaffeeautomat steht dabei stellvertretend für eine beliebige technische Anlage aus einem Industrie- oder

Produktionsgebäude. Mit Blick durch die HoloLens auf den Kaffeeautomaten werden Objektinformationen wie beispielsweise die Seriennummer, letzter Wartungstermin oder Baujahr angezeigt. Ein Hintergrundsystem liefert dabei die relevanten FM-Daten. Aus dem verknüpften System können außerdem Produktionskennzahlen, wie die Anzahl gekochter Kaffees und der aktuelle Maschinenzustand, abgerufen und dargestellt werden. Auftretende Störungen werden sowohl realweltlich über eine rote Signalleuchte als auch virtuell über die AR-Anwendung präsentiert. Der HoloLens-Träger erhält aber zusätzlich noch detailliertere Störungsinformationen und visuelle Markierungen in Form von Pfeilen zur Störungsbehebung. Außerdem unterstützen einfache Instruktionen den Nutzer bei einem Checklisten-geführten Wartungsvorgang. Auch diese Informationen werden vom Hintergrundsystem bereitgestellt und verarbeitet. Bild 3 (rechts) zeigt einen Prototypen, bei dem ein sich bewegender Roboter um virtuelle Informationen angereichert wird. Visuelle Markierungen in Form von orangenen Kegeln kennzeichnen die einzelnen Gelenke des Leichtbauroboters. Mit leicht auszuführenden Gesten kann der HoloLens-Nutzer weiterführende Informationen zu ihnen erhalten. Techniker könnten sich so über den Zustand des Roboters inklusive seiner Bauteile informieren und bei Bedarf notwendige Serviceaufträge auslösen, wie etwa das Nachbestellen einzelner Teile oder das Beauftragen externer Servicepartner zur Fehlerbehebung.

4.2 Erweiterter Fabrikplan

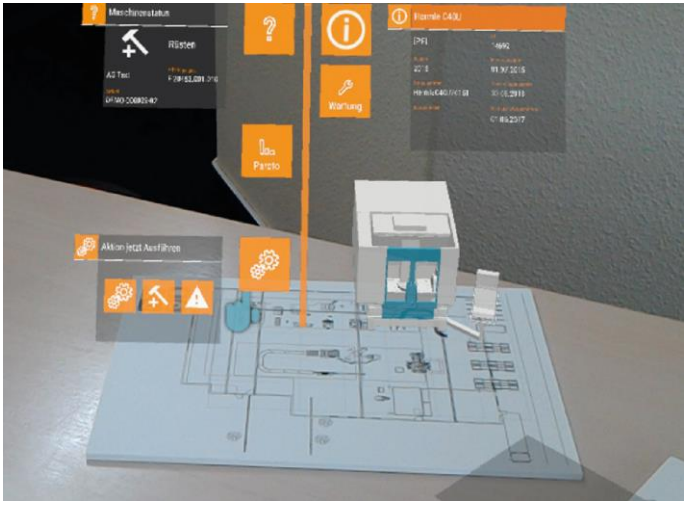


Bild 4: Demonstrator zur Hannovermesse – Anreicherung des 2D-Fabrikplans um eine virtuelle Maschine inkl. Maschinenzustand und Fertigungskennzahlen

Neben der Interaktion mit einer realen Facility können ebenfalls virtuelle CAD-Modelle zur Informationsbereitstellung genutzt werden. So kann eine einzelne Maschine, ein komplettes Fabriklayout oder ein komplettes Gebäudemodell als virtuelles Ausgangsmodell genutzt werden. Durch die Platzierung in der realen Welt können hier erste Diskussionen durchgeführt und Entscheidungen getroffen werden, da Ausmaße und Funktionsweise anschaulich und verständlich visualisiert werden können. Bild 4 zeigt einen realen zweidimensionalen Fabrikplan, auf dem mittels AR eine Bearbeitungsmaschine in Form eines vereinfachten 3D-CAD-Modells virtuell eingeblendet wird. Dabei kennzeichnet eine orangefarbene Säule die Maschinenposition in der Fabrik. Ähnlich wie beim Kaffeeautomaten werden zusätzliche Informationen, wie beispielsweise der letzte Wartungstermin, Konstruktionsdaten und Reparaturanweisungen, aus dem Hintergrundsystem abgerufen und eingeblendet. Außerdem erlaubt die prototypische Anwendung das interaktive Abarbeiten von Wartungschecklisten, das Analysieren von Fertigungskennzahlen sowie das Beheben von Störmeldungen.

4.3 Remote Kollaboration am Beispiel von Skype

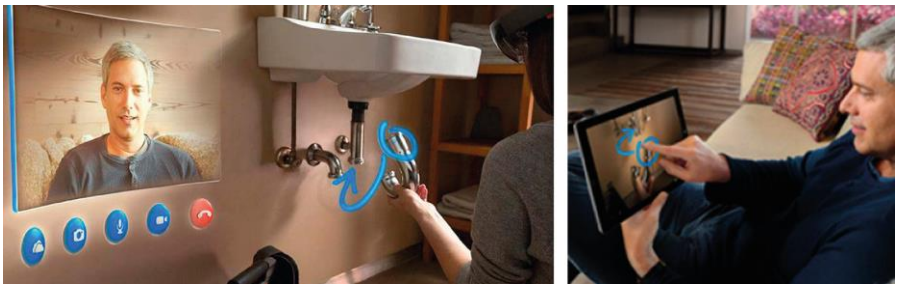


Bild 5: Kollaborative Interaktion mit Microsoft Skype (Quelle: Microsoft)

Microsofts Skype-Anwendung[3] zeigt, wie eine einfache Telepräsenz-Lösung realisiert werden kann. In Verbindung mit der HoloLens ergibt sich der Vorteil, dass durch die eingebaute Kamera in der Brille direkt ersichtlich ist, wo der Träger hinsieht. Außerdem können Dokumente (z.B. Schaltpläne, technische Dokumente) eingeblendet oder Markierungen im Sichtfeld des HoloLens-Trägers gesetzt werden (siehe Bild 5). Bei der HoloLens-Variante von Skype werden dabei eingeblendete Dokumente und Markierungen an der realen Raumgeometrie „angebracht“. Hilfestellungen können damit zielgerichteter erfolgen, da benötigte Informationen an der Stelle angebracht und verbleiben können, wo sie vom Nutzer benötigt werden.

[3] https://www.microsoft.com/hololens/apps/skype

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zukünftige Gebäude und darin enthaltene technische Anlagen werden in Zeiten von Industrie 4.0 intelligenter und miteinander immer mehr vernetzt. MR-Technologien können dabei helfen, die darin ablaufenden Prozesse, Maschinen- und Gebäudeinformationen für Produktionsleiter, Anlagentechniker und Gebäudebetreiber verständlich zu präsentieren. Im Beitrag wurden nach einem grundlegenden Forschungsüberblick verschiedene Anwendungsklassen für den Einsatz von MR vorgestellt, welche über eine einfache Informationsbereitstellung bis hin zu komplexen Kollaborationen und Workflows reichen. Die anschließend vorgestellten Fallbeispiele und Prototypen veranschaulichen erste praxisrelevante Anwendungen und zeigen das Potenzial von MR im Kontext von Produktion und FM. In weiteren Schritten sollen die Konzepte und Prototypen weiterentwickelt werden, um auch komplexere Anwendungsfälle abdecken zu können. Dazu gehört auch, die Interaktion mit MR-Technologien ganzheitlich in produktionstechnische und gebäudebetriebliche Prozesse einzubetten, z.B. im Instandhaltungsprozess. Dieser beginnt bei der automatischen Störungsmeldung der technischen Anlage, geht über die Benachrichtigung und Auftragsannahme des Technikers über Smartphone oder Smartwatch bis hin zur Durchführung von Wartungen mit MR-Brillen. Alle Informationen sollten dabei stets transparent im durchgängigen digitalen Workflow abgelegt und auch für den Nutzer stets nachvollziehbar und situationsgerecht aufbereitet sein.

Danksagung

Diese Arbeit wird aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) und des Freistaates Sachsen im Rahmen des Forschungsprojektes „CyPhyMan“ (Projektnummer 100268299) gefördert.

Literaturangaben

[1] *Paelke, V.: Augmented Reality in the Smart Factory: Supporting Workers in an Industry 4.0. Environment. In: 19th IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), 2014, doi: 10.1109/ETFA.2014.7005252*

[2] *Azuma, R.: A Survey of Augmented Reality. In: Presence Teleoperators Virtual Environment, MIT Press, 1997, S. 355–385, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355*

[3] *Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. In: SPIE Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, International Society for Optics and Photonics, 1994, S. 282–292, doi: 10.1.1.83.6861*

[4] *Pollalis, C.; Fahnbulleh, W.; Tynes, J.; Shaer, O.: HoloMuse: Enhancing Engangement with Archaeological Artifacts through Gesture-Based Interaction with Holograms. In: Proceedings of the Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '17), ACM, 2017, S. 565–570, doi: 10.1145/3024969.3025094*

[5] *Tillon, A.B.; Marchal, I.; Houlier, P.: Mobile Augmented Reality in the Museum: Can a Lace-Like Technology Take You Closer to Works of Art?. In: IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH), IEEE, 2011, S. 41–47*

[6] *Srivastava, A.; Yammiyavar, P.: Design of Multimodal Instructional Tutoring Agents Using Augmented Reality and Smart Learning Objects. In: Proceedings of the 18th International Conference on Multimodal Interaction (ICMI '16), ACM, 2016, S. 421–422, doi: 10.1145/2993148.2998531*

[7] *Kourouthanassis, P.; Boletsis, C.; Bardaki, C.; Chasanidou, D.: Tourists Responses to Mobile Augmented Reality Travel Guides: The Role of Emotions on Adoption Behavior. In: Pervasive and Mobile Computing, Volume 18, 2015, S. 71–87, doi: 10.1016/j.pmcj.2014.08.009*

[8] *Dini, G.; Mura, M.D.: Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services, In: Proceedings of the 4th International Conference on Through-Life Engineering Services, 2015, S. 14–23, doi: 10.1016/j.procir.2015.07.044*

[9] *Jayaweera, M.; Wijesooriya, I.; Wijewardana, D.; De Silva, T.; Gamage, Chandana: Enhanced Real-Time Machine Inspection with Mobile Augmented Reality for Maintenance and Repair. In: Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI '17), ACM, 2017, S. 287–288, doi: 10.1145/3054977.3057302*

[10] *Aschenbrenner, D.; Latoschik, M.E.; Schilling, K.: Industrial Maintenance with Augmented Reality. In: Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology (VRST '16), ACM, 2016, S. 341–342*

[11] *Baudel, T.; Beaudouin-Lafon, M.: Charade: Remote Control of Objects Using Free-hand Gestures. In: Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World, ACM, 1993, S. 28–35, doi: 10.1145/159544.159562*

[12] *Wang, X.; Dunston, P.S.: A User-Centered Taxonomy for Specifying Mixed Reality Systems for AEC Industry. In: Journal of Information Technolology in Construction (ITcon), 2011, S. 493–508, http://www.itcon.org/2011/29*

[13] *Korzetz, M.; Kühn, R.; Gohlke, M.; Aßmann, U.: HoloFacility: Get in Touch with Machines at Trade Fairs using Holograms. In: Proceedings of the 2017 ACM on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '17), 2017, doi: 10.1145/3132272.3132273*

Herausforderungen bei kollaborativen Anwendungen mit VR-HMDs

Rabätje, R.[1]; Menzel, S.[1]; Wochnig, M.[1]

[1] vr-on GmbH

Abstract

Der folgende Beitrag beschreibt die Herausforderungen für industrielle Multiuser Anwendungen. Ausgehend von industriellen Anwendungsfällen wird der Bedarf an Kolaboration motiviert. Da Game Engines heutzutage ihren Einzug in die Industrie finden, werden deren Möglichkeiten und die damit verbundene Komplexität am Beispiel der Unreal Engine dargestellt. Hieraus werden Anforderungen an eine Anwendung abgeleitet, welche sich auf die Verteilung der Daten und die Berechnung der Funktionen auf unterschiedlichen Rechnern beziehen. Am Beispiel der Software stage wird erläutert wie diese Anforderungen umgesetzt sind und welche Vereinfachungen sich dadurch für den Anwender ergeben.

1 Motivation

Virtual Reality ist seit Mitte der 90er Jahre im industriellen Einsatz. Hier hat es sich in den Bereichen der Produktvisualisierung und der Produktabsicherung etabliert. Als Use Cases sind hier Designabnahmen in der Entwicklung, Ergonomische Überprüfungen oder Visualisierungen für Marketing und Vertrieb zu nennen. Gerade im Bereich der Produktentwicklung hat VR dazu beigetragen Entwicklungszeiten zu verkürzen und so Kosten zu vermeiden [1, 2].

Ein wesentlicher Vorteil für den Einsatz von VR ist die Unterstützung der Kommunikation zwischen Experten und Nicht-Experten und damit der Entscheidungsfindung in einer frühen Entwicklungsstufe. Als Techniken werden hier überwiegend Powerwalls und CAVEs eingesetzt. Hierbei sehen die Teilnehmer der VR Session sowohl den virtuellen Inhalt als auch sich gegenseitig in der realen Welt. Die Teilnehmer können somit in gewohnter Weise über den virtuellen Inhalt sprechen.

In den letzten zwei Jahren finden Consumer HMDs immer größere Zustimmung. Die Gründe hierfür liegen im günstigen Preis, einer guten Trackingqualität und einer geringen Latenz. Letzteres gerade im Zusammenspiel mit aktuellen Game Engines wie Unity3D oder Unreal. Kennzeichnend für HMDs ist jedoch, dass der Nutzer

alleine in der virtuellen Welt ist. Er kann seine Gesprächsteilnehmer nicht länger sehen, was eine Kommunikation entscheidend erschwert.

Um die Kommunikation erneut zu unterstützen, sind Anwendungen erforderlich, die es ermöglichen, dass mehrere Nutzer sich in der virtuellen Welt treffen, sich sehen und miteinander reden können. Weiterhin sind Funktionen notwendig, die bisherige VR Nutzer gewohnt sind, wie das Schalten von Varianten etc.

Heutige Game Engines bieten neben einem schnellen Rendering bereits eine Fülle von Funktionen. Diese können im Falle von Unity3D via C# oder Java Script kombiniert und zu komplexeren Abläufen kombiniert werden [3]. Im Falle von Unreal können eigene Funktionen mit Hilfe von C++ oder Blueprint entwickelt werden [4]. In beiden Fällen stellen die Game Engines somit eher ein Toolset als eine fertige Anwendung dar. Um Game Engines direkt einzusetzen und die erforderlichen Funktionen für einen industriellen Einsatz zur Verfügung zu haben, muss der industrielle Anwender selbst entwickeln. Dies ist nicht akzeptabel, da es sich bei diesen Nutzern eher um Konstrukteure oder Maschinenbauingenieure handelt als um Informatiker. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit die Game Engines um einen festen Satz von Funktionen zu erweitern. Dieser Funktionsumfang muss dann durch einen industriellen Nutzer auf einfache Weise mit seinen Daten kombiniert werden können. Programmiertätigkeiten müssen dabei so weit wie möglich reduziert und vermieden werden. Des Weiteren müssen die MultiUser Fähigkeiten der Game Engines für einen industriellen Einsatz ertüchtigt werden.

2 Stand der Wissenschaft

Heutige Game Engines unterstützen nicht nur aktuelle VR HMDs wie Oculus Rift oder HTC Vive, sondern weisen auch Multiplayer Funktionalitäten auf, die es mehreren Nutzern erlauben gemeinsam in einer Szene zu spielen [5, 6].

Kollaborationstools für einen industriellen Einsatz beziehen sich meist auf die Übertragung von Videotelefonie oder von Bildschirminhalten. Als Beispiel sei hier auf Skype for Business oder Teamviewer verwiesen [7, 8]. Die Kommunikation über verschiedene Standorte hinweg ist möglich, jedoch existiert hier eine Trennung zwischen Inhalten (Bildschirminhalt) und Teilnehmern. Diese sind nicht Teil dessen was Entschieden werden soll. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zur realen Welt dar.

Ein nächster Schritt ist die Repräsentation der Nutzer in einer 3D Welt. Beispiele hierfür sind [9, 10]. Hier sind die Teilnehmer in einer 3D Welt vertreten, die zu diskutierenden Inhalte werden jedoch weiterhin zweidimensional angezeigt.

Reine Virtual Reality Anwendungen existieren bereits seit Ende der Neunziger Jahre. Sie sind jedoch ausschließlich Einzelplatzanwendungen [11, 12].

Erst im letzten Jahr sind erste professionelle Anwendungen für eine echte 3D Kollaboration für industrielle Anwendungen entstanden. Diese basieren auf Game Engines, die für die besonderen professionellen Anforderungen erweitert wurden. Als Beispiel sind hier Improov [13] und VRED [14] zu nennen.

3 Überblick über den folgenden Artikel

Zunächst wird auf die Besonderheiten der Game Engine Unreal in Bezug auf Netzwerkfunktionalität eingegangen. Anschließend wird anhand ausgewählter Use Cases am Beispiel der Software stage definiert, welche Funktionen für eine industrielle Anwendung erforderlich sind und wie eine Umsetzung möglich ist, die ein Kollaboration in VR ermöglicht. Die erreichten Ergebnisse werden abschließend diskutiert und ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gegeben.

4 Beschreibung der Unreal Engine

Die Unreal Engine ist eine Game Engine, die in der vierten Generation existiert und von der Firma Epic entwickelt wird. Die Unreal Engine hat einen Kern, der wesentliche Funktionalitäten, wie etwa Rendering und Physiksimulation zur Verfügung stellt. Daneben kann die Engine über C++, die visuelle Skriptsprache Blueprint und Plugins erweitert werden. So existieren etwa Plugins für die Nutzung der HTC Vive oder des Oculus HMDs [15].

Wie bei Unity ist der Weg von der Idee zu einem fertigen Computerspiel in zwei Phasen unterteilt. Mit Hilfe des Unreal Editors werden Objekte zu einer Szene zusammengefügt und mit Eigenschaften und Funktionen erweitert. Anschließend wird hieraus eine feste Exe kompiliert, die alles beinhaltet und das ausführbare Spiel darstellt.

Heute sind Multiuser Spiele stark verbreitet und werden auch durch die Unreal Engine unterstützt.

Für ein Multiuser Spiel sind folgende Aspekte zu lösen:

- Verteilung des Spiels zu den einzelnen Nutzern
- Verbindung der Nutzer zu einer gemeinsamen Nutzerbasis
- Verteilung der Daten und Ereignisse innerhalb des Spieles

Für den ersten Aspekt sind die Computerspiele Hersteller verantwortlich und hierfür bieten sich der Vertrieb von Spiele DVDs oder die Bereitstellung einer Download Plattform an.

Der zweite Aspekt wird mit dem Begriff Match Making bezeichnet. Hierbei müssen sich die Teilnehmer mit einer Servereinheit verbinden. Sie werden dabei für den jeweils anderen im Spielgeschehen sichtbar. Hierfür muss in der Unreal Engine eine so genannte Session erzeugt werden. Diese kann auf einem ausgewiesenen Server (Dedicated Server) oder auf dem Rechner des Nutzers laufen. Der Dedicated Server unterscheidet sich zum User Rechner, indem hier keinerlei Rendering stattfindet. Eine laufende Session muss von den anderen Nutzern gesucht werden. Konnte eine Session gefunden werden, so kann dieser beigetreten werden. Damit dies funktioniert bietet die Unreal Engine ein eigenes OnlineSystem an. Die Nutzer müssen sich nirgends anmelden und können jeder laufenden Session beitreten. Alternativ können OnlineSysteme von Steam etc genutzt werden.

Damit ein Online Spiel funktioniert, muss eine konsistente Datenbasis sichergestellt sein. Hierbei übernimmt ein Rechner die Rolle eines Servers, der die Szene verwaltet und Veränderungen über das Netzwerk an die anderen Teilnehmer überträgt. Der Server behält die Hoheit über die Daten und verteilt Veränderungen an die angeschlossenen Rechner. Bei diesen Veränderungen handelt es sich um Steuerbefehle oder Transformationen. Es werden somit keinerlei Geometriedaten übertragen.

Nicht alle Aktionen müssen jedoch auf dem Server laufen, sondern können auch lokal auf einem Nutzerrechner ausgeführt werden, etwa die Anzeige des Inventars. Während der Spieleentwicklung muss der Entwickler festlegen, auf welchem Rechner eine Operation ausgeführt werden soll.

Innerhalb eines Spieles existieren unterschiedliche Objekte. Als Beispiele seien hier die GameInstanz, die es nur einmal gibt oder einen GameMode, indem festgelegt wird welche Kriterien für einen Sieg erforderlich sind, genannt. Darüber hinaus gibt es Spieler relevante Objekte, wie Playercontroller, der die Eingaben des Nutzers entgegennimmt und Player Character, die die graphische Repräsentation des Nutzers darstellen. Diese Objekte existieren in unterschiedlicher Häufigkeit (1x GameInstance, nx Playercontroller) auf den verschiedenen Rechnern (Server, Clients).

Bild 1 zeigt, wo die einzelnen Objekte existieren.

Um Objekte oder Variablen im Netzwerk verteilen zu können, müssen diese mit der Eigenschaft zur Replikation versehen werden. Erst dann werden sie innerhalb des Netzwerks ausgetauscht.

Zusätzlich zur Existenzunterscheidung der Objekte kann festgelegt werden, wo gewisse Funktionen ausgeführt werden sollen. Hierbei handelt es sich um so genannte Remote Procedural Calls (RPCs).

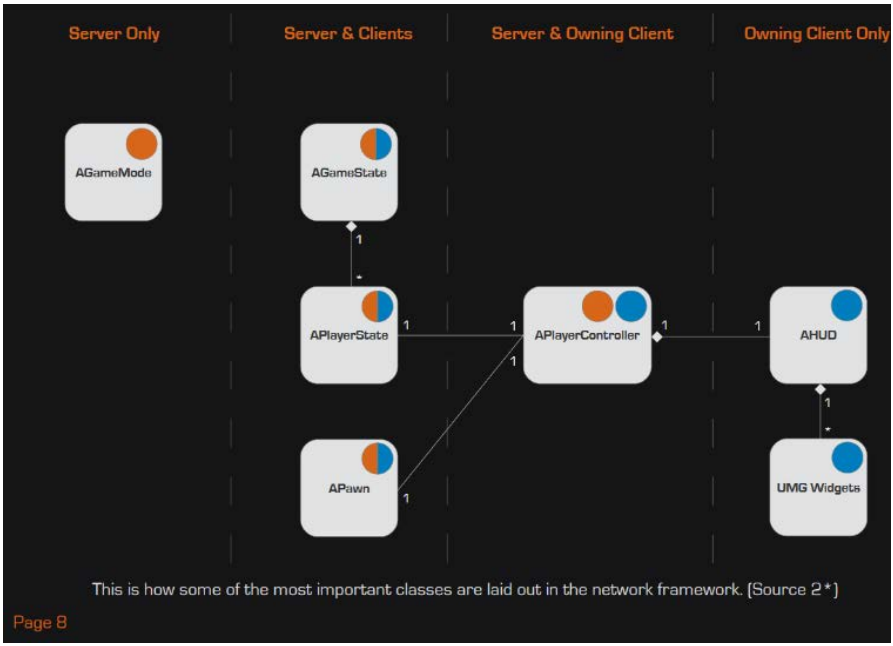


Bild 1: Existenz wichtiger Unreal Objekte im Netzwerk [16]

Eine Funktion kann auf folgende Weisen ausgeführt werden:

- Auf dem Server
- Auf dem Client
- Multicast (auf allen Rechnern)

Sollen z.B. Objekte dynamisch erzeugt werden, so müssen diese auf dem Server erzeugt und mit der Eigenschaft Replicate versehen werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Grundfunktionen vorhanden sind, um erfolgreich eine Kollaboration mit der Unreal Engine umzusetzen, jedoch wäre ein normaler User, wie oben beschrieben überfordert.

5 Verteilung und MatchMaking in der Industrie

Im Folgenden Abschnitt wird erläutert wie die Mechanismen der Computerspiele auf eine industrielle Praxis übertragen werden können.

In einer industriellen Umgebung ist es wichtig, dass Daten sicher sind und die Netze des Unternehmens nicht verlassen. Aus diesem Grund müssen die Methoden der Computerspieleindustrie auf die industrielle Praxis angepasst werden.

Dies bedeutet, dass es einen Mechanismus zum Erstellen und Verteilen eines Inhaltes geben muss. Dieser Inhalt muss auf einfache und sichere Weise an andere User übertragen werden können. Die generierten Daten inkl. der ausführbaren Exe wird im Folgenden als Präsentation bezeichnet.

Weiterhin müssen die User sehen, ob Sessions laufen und diesen beitreten können. Eine Session bezeichnet hierbei eine laufende Präsentation.

Diese Herausforderungen sollen am Beispiel des Programms stage beschrieben werden.

Die erste Herausforderung ist die Erstellung eigener Inhalte. Hierzu dient der Unreal Editor. In diesem können Geometriedaten über das FBX Format importiert und in eine ausführbare Datei gepackt werden. Um ein manuelles Kopieren zu verhindern, wurde ein Client-Server System entwickelt, welches die Verteilung und Sicherung der Daten ermöglicht.

Dabei ist ein Server im Firmennetzwerk installiert und verwaltet sowohl die Nutzerdaten als auch die erstellten Präsentationen. Ein lokaler Client verbindet sich vom Rechner des Anwenders zum Server und bekommt die Information über bereits existierende Präsentationen. Um die Verteilung der Daten aus dem Unreal Editor anstoßen zu können, wurde ein Plugin für den Unreal Editor entwickelt, welches sich mit dem lokalen Client verbindet und hierüber die Daten an den Server weiterleitet. Anschließend wird die neue Präsentation allen anderen Nutzern automatisch per Download zur Verfügung gestellt.

Um die Datensicherheit gerade von sensiblen Entwicklungsdaten zu erhöhen, werden über das System zwei Dinge ermöglicht. Die Präsentation wird über einen vom Server generierten Schlüssel verschlüsselt und im System abgespeichert. Hierdurch wird eine nachträgliche Extraktion der Daten verhindert. Weiterhin kann über den Client festgelegt werden, welche anderen User die Daten betrachten dürfen. Die Präsentationen sind somit nur für einen ausgewählten Nutzerkreis verfügbar. Es ist somit das Thema der Erstellung und Verteilung adressiert.

Es verbleibt das Thema des Matchmakings, d.h. wie kommen die Nutzer zusammen, um sich in einer gemeinsamen VR Session zu treffen. Hierbei dient der Server als Vermittlungsstelle. Der erste User, der eine VR Anwendung startet, teilt seine IP dem Server mit. Diese wird über den Server anderen Clients zur Verfügung gestellt. Der Nutzer kann in der Clientanwendung sehen, dass eine VR Session bereits läuft. Indem er diese Session selektiert und joint, verbindet sich der lokale Rechner mit dem Rechner, der als erstes die VR Anwendung gestartet hat. Dieser Rechner wird im Folgenden als VR-Server bezeichnet. Der Server ist somit lediglich eine Vermitt-

lungsstelle. Da sich alle Rechner innerhalb eines Netzwerkes befinden und sich sehen können, verbleiben alle Daten innerhalb des Firmennetzwerkes.

6 Kollaboration innerhalb der VR Anwendung

Für eine Nutzung der Daten in einer kollaborativen Weise liefert stage feste Klassen in der Unreal Engine mit. Diese erweitern die existierenden Klassen, wie den GameMode, den PlayerController oder den PlayerCharacter und stellen so sicher, dass alle Funktionen in einer verteilten Session lauffähig sind. Der Anwender konfiguriert seine Daten so, als würde er an einem einzelnen PC arbeiten. Er benötigt also keinerlei Spezialwissen über Netzwerkaufrufe (RPCs) oder Verteilung (Multicast etc.). Im Folgenden werden die einzelnen Funktionen und deren Umsetzung in stage beschrieben.

Um innerhalb der Entwicklung Designentscheidungen zu unterstützen, sollten unter anderem die folgenden Funktionen verfügbar sein:

- Schalten von Varianten (Geometrie- oder Farbvarianten)
- Dokumentation von Nacharbeitsstellen
- Dynamisches Erzeugen von Objekten

Für eine erfolgreiche Besprechung sollte eine Agenda existieren und ein Teilnehmer sollte die Rolle des Moderators haben. Diese Metapher wurde auch in stage umgesetzt. Hier heißt der Moderator Presenter. Nur er kann bestimmte Funktionen ausführen, z.B. das Schalten von Varianten. Hierdurch wird sichergestellt, dass alle Teilnehmer einen konsistenten Datenstand sehen und die VR Besprechung gelenkt werden kann.

Varianten werden innerhalb des Unreal Editors festgelegt und können innerhalb der VR-Anwendung geschalten werden. Die Schaltung erfolgt anhand von Events. Die vr-on Erweiterung sorgt nun dafür, dass die Schaltung auf dem Server ausgeführt wird und via Multicast auf allen Rechnern stattfindet. Tritt ein Teilnehmer zu einem späteren Zeitpunkt einer Session bei, wobei bereits Varianten geschaltet wurden, so werden diese Informationen auch an den neuen Teilnehmer übermittelt und dort erfolgt die Schaltung der entsprechenden Varianten.

Für die Dokumentation der Nacharbeitsstellen gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen kann der Anwender Screenshots erzeugen und zum anderen kann der Nutzer virtuelle Klebpunkte in der Szene erstellen. Diese Objekte werden jeweils auf dem Server erstellt und dabei im Netzwerk verteilt. Die Daten werden jedoch nicht innerhalb der VR Anwendung dauerhaft gespeichert, sondern über eine Netzwerkschnittstelle an den Datenserver übertragen und dort gespeichert. Dadurch können diese Daten nach der VR Präsentation durch alle Teilnehmer exportiert und als Protokoll genutzt werden. Auch bei diesen Funktionen spielt der Presenter eine

besondere Rolle. Jeder Nutzer kann Klebpunkte erstellen. Er kann aber immer nur seine eigenen Klebpunkte löschen, um sicher zu stellen, dass Anmerkungen nicht unbefugt entfernt werden. Lediglich der Presenter ist in der Lage alle Klebpunkte aus der Szene zu löschen.

Der Presenter kann weiterhin auf bestimmte Punkte in der Szene hinweisen und andere Teilnehmer an eine bestimmte Position beamen. Hierdurch kann er leiten, dass alle relevanten Punkte angeschaut werden.

Wie in einer realen Besprechung kann die Rolle eines Moderators im Laufe des Termins wandern. Auf gleiche Weise kann die Rolle des Presenters unter den Teilnehmern der Session weitergegeben werden. Hierzu muss das nutzerkontextsensitive Menü geöffnet werden und die Rolle abgegeben werden.

Der Anwender kann ebenfalls im Editor festlegen, welche Objekte in der Szene dynamisch erzeugt werden können. Damit diese für alle Nutzer sichtbar sind, muss die Erstellung ebenfalls über den Server laufen. Auch dies wird über die Systemerweiterung vom Nutzer ferngehalten. Der Nutzer kann solch ein Objekt zu einem späteren Zeitpunkt wieder aus der Szene löschen. Hierbei wird der Befehl über die vr-on Systemerweiterung ebenfalls verteilt, so dass das Objekt bei allen Teilnehmern gelöscht wird.

Entscheidungen können aber nur aus einer Kommunikation heraus getroffen werden, um diese zu unterstützen, ist die Repräsentation der Teilnehmer wichtig. Hierfür existieren in stage Oberkörpermodelle, die an der Position der Nutzer eingeblendet werden.

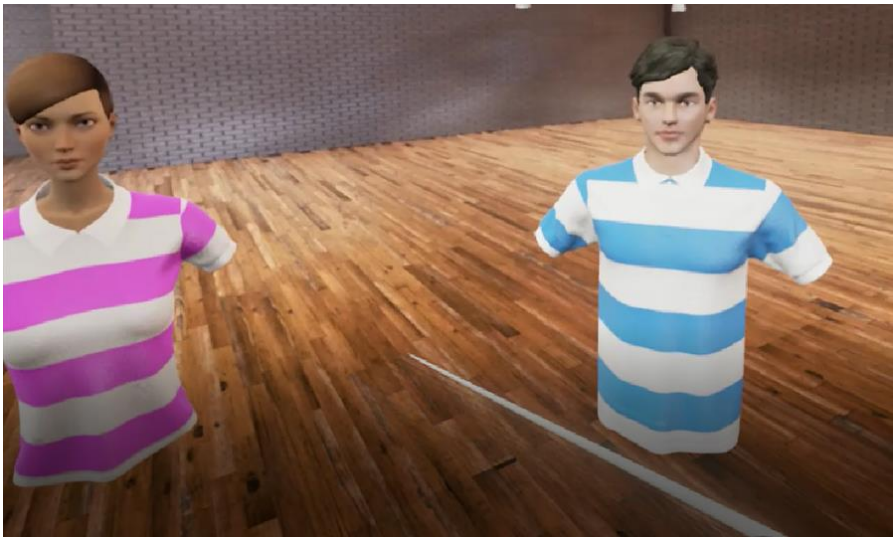


Bild 2: Oberkörpermodelle zur Repräsentation

Diese Oberkörpermodelle umgehen das Problem, dass User unterschiedlich groß sind und die Füße im Boden stecken oder in der Luft schweben. Eine weitere Herausforderung ist die Vermeidung von unnötigem Netzwerktraffic. Kommen mehrere Teilnehmer zusammen, so steigt die Netzwerklast stark an, wenn in jedem Bild die Position der Nutzer übertragen wird. In der Unreal Engine gibt es die Möglichkeit, dass der Avatar nur zu bestimmten Zeitpunkten einen Bewegungsimpuls auf dem Server bekommt und die Bewegung als Interpolation auf dem jeweiligen Rechner berechnet wird. Hierdurch wird die Datenmenge, welche über das Netzwerk übertragen wird, verringert. Um die Kommunikation durch ein Zeigen des Nutzers zu verbessern, wird im Falle einer gedrückten Taste ein Zeigestrahl im Netzwerk verteilt. Hierbei kommt es nur temporär zu einer erhöhten Datenübertragung. Weiterhin wird die Sprache übertragen, so dass man auf natürliche Art und Weise miteinander sprechen kann.

In Summe reduzieren die beschriebenen Techniken die Komplexität für den Anwender und erlaube für Jeden eine VR Kollaboration.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorliegende Paper beschrieb die Ähnlichkeiten und Differenzen zwischen einer klassischen Umsetzung eines Computer Spieles und den besonderen Anforderungen einer industriellen Anwendung. Am Beispiel von stage und der Unreal Engine wurde ein Umsetzungsbeispiel für eine industrielle Anwendung geschrieben. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass Komplexität, die sich durch die Netzwerkfähigkeit der Anwendung entsteht vom Anwender fern zu halten ist.

In Zukunft ist geplant den Funktionsumfang von stage für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete wie Fahrzeugbau und Architekturvisualisierung zu erweitern. Dabei wird immer eine Optimierung der Netzwerklast angestrebt.

Geplante Funktionen, die die Kommunikation unterstützen, sind etwa die Auswahl von privaten Kommunikationslinien, wobei die Sprache nur zwischen zwei Teilnehmer verteilt wird. Die Verortung der Sprache, so dass die Sprache eines Teilnehmers auch an der entsprechenden Position in der virtuellen Welt erscheint. Letztendlich soll untersucht werden, ob die Kommunikation durch personalisierbare Avatare verbessert werden kann, wenn diese den Dimensionen und dem Aussehen des Teilnehmers entsprechend. Hierfür sind geeignete Verfahren für die Vermessung und Verteilung der Daten zu finden.

Literaturangaben

[1] Lawson G., Salanitri D., Waterfield B.: VR Processes in the Automotive Industry, Human-Computer Interaction: Users and Contexts, 2015, S. 208-217

[2] Volkswagen AG: URL: https://www.volkswagenag.com/en/group/research/virtual-technologies.html, [14.08.2017]

[3] Unity3D: URL: https://unity3d.com/de/learn/tutorials/s/scripting [14.08.2017]

[4] Epic: URL: https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Programming/ [14.08.2017]

[5] Epic: URL: https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Gameplay/Networking/ [28.08.2017]

[6] Unity3D: URL: https://unity3d.com/de/unity/features/multiplayer [28.08.2017]

[7] Microsoft: URL: https://products.office.com/de-de/skype-for-business/online-meetings [28.08.2017]

[8] Teamviewer: URL: https://www.teamviewer.com/de/ [28.08.2017]

[9] Doghead Simulations: URL: http://www.dogheadsimulations.com/#products-section [28.08.2017]

[10] Qbit Technologies: URL: https://www.qbittech.com/index.php/en/vr-solutions/virtual-collaboration-conferencing-events [28.08.2017]

[11] ESI Group: URL: https://www.esi-group.com/de/software-loesungen/virtual-reality/icido [28.08.2017]

[12] Dassault Systems: URL: http://www.3dexcite.com/de/angebot/software/author/3dexcite-deltagen [28.08.2017

[13] MiddleVR: URL: http://www.improovr.com/ [28.08.2017]

[14] Autodesk Inc.: URL: https://knowledge.autodesk.com/support/vred-products/learn-explore/caas/simplecontent/content/adding-vr-collaboration-vred-for-the-htc-vive.html [28.08.2017]

[15] Epic: URL: https://wiki.unrealengine.com/Oculus_Rift [28.08.2017]

[16] Neukirchen, C.: 'Unreal Engine 4' Network Compendium, URL: http://cedric-neukirchen.net/Downloads/Compendium/UE4_Network_Compendium_by_Cedric_eXi_Neukirchen.pdf [31.07.2017]

Interaktion in virtuellen Welten

Applications of Force-Feedback for Industry 4.0

Perret, J.[1]

[1] Haption GmbH, Aachen

Abstract

The implementation of Industry 4.0 both benefits from, and provides new opportunities to, technologies which have been limited to niche markets until very recently. One of those technologies is force-feedback, sometimes also called haptics. In this article, we show how force-feedback helps meet the challenges of shortened product lifecycle, higher production standards, as well as better skill acquisition by the workers.

1 Introduction

Industry 4.0 is about the advent of “smart factories”, built of cyber-physical manufacturing systems which communicate with each other as well as with human operators in a decentralized manner. The purpose is to make manufacturing processes more flexible and more efficient, by an increased use of automation and by the ability to reconfigure the workflows on short notice.

As a matter of fact, the smart factory implies on the digitization of all processes, from product design to decision-making and manufacturing. It relies heavily on new technology trends, such as the Internet of Things and additive manufacturing. But it also creates new applications for technologies which have been around for years, e.g. artificial intelligence and Virtual Reality.

Force-Feedback was first developed in the late 1950s in the USA, for the needs of the nuclear industry, in order to replace the mechanical tele-manipulators in the case of highly dangerous and complex operations in the presence of ionizing radiations [1]. The first computer-driven force-feedback devices arrived on the market in the early 1980s, still dedicated to nuclear operations [2]. In the 1990s, companies such as Telerob in Germany, proposed master-slave systems with force-feedback for heavy-duty industrial manufacturing tasks, such as deburring of large foundry parts.

In 1994, Thomas Massy and Kenneth Salisbury introduce the PHANTOM, a small force-feedback device for interacting with virtual objects [1]. It was the real birth of the technology branch of “haptics”, which soon had its own scientific community and international conferences. Many different professional applications were proposed for haptics: scientific data exploration, musical experiences, assistance to blind people, molecular docking. Some applications had a limited commercial success, such as the free-hand design of 3D objects. But most of them didn’t break through, so that haptics were limited to rumble effects and force-feedback controls for computer games. Recently, force-feedback devices became a new interest for skills acquisition in the medical field (dental, orthopedic).

2 Product Lifecycle

In order to get the most benefits from the Industry 4.0 principles, it is necessary to digitize the complete lifecycle of the product, from its initial design, through its marketing and manufacturing, to its decommissioning in the end. Each product thus has a digital twin, which even pre-exists its own physical self. The design engineers, the production planners, the customers themselves, as well as the after-sales services, can view part of the information contained in the digital twin. The most visible part is its 3D representation, which can be accessed as a Virtual or Augmented Reality experience.

The role of force-feedback in this context is to provide a manual interaction with the 3D representation of the product as long as it does not exist physically. Thanks to force-feedback, the customers can test the product before buying; the design engineers can validate and optimize its ergonomics; the production planners can experiment with the manufacturing and assembly processes; the after-sales services can evaluate the maintenance time and complexity.

Of all those activities, assembly validation has seen the largest development effort until now. The first implementation was done by The BOEING Company in the mid-1990 with the VPS technology [4]. The work was continued by a team of the Iowa State University in the 2000s [5] and commercialized by the company Haption in the same period [6].

Initially, the main drive for virtual assembly validation was the reduction of the design time and costs, through a better integration of the design and engineering activities and the manufacturing of a lower number of intermediate physical prototypes. Meanwhile, thanks to the success of the additive manufacturing technology, the cost of physical prototypes has dropped dramatically, as well as the time needed to produce them. But at the same time, the number of product variants has been going up steadily, so that the economic relevance of virtual assembly validation hasn’t dropped.

Some developments have been made in the field of product ergonomics [7], but besides virtual assembly validation, the other applications for the product lifecycle are still in their infancy.

3 Production standards

As opposed to pre-Industry 4.0, in the smart factory the humans are not serving the machines, but instead the cyber-physical systems are assisting humans by actively providing the information they need and by taking care of difficult and dangerous tasks. The assessment of how difficult or dangerous a task is, is done by ergonomists working of physical mock-ups. In recent years, interactive simulation coupled with Virtual Reality technology has been taking up in order to detect and solve ergonomic issues before they actually occur. In [8], the authors propose a complete framework for performing such activities. Today, the same framework is used by several automotive manufacturers in combination with force-feedback for manufacturing process reviews.

Another trend is the rise of collaborative robots as assistants or even as co-workers in the factory. The benefits of the “cobots” are largely acknowledged, and they are usually well accepted by their human counterparts. However, their implementation can be very difficult, not least because of the safety standards which need to be verified. Here again, physical simulation with force-feedback can be of help, as shown in [9].

4 Skill acquisition

One of the main challenges faced by Industry 4.0 is to ensure that the workers’ skills are adequate and keep up with the demands raised by the increased flexibility of the production processes. On-the-job training is no longer possible when the product variations become predominant and when the jobs are individualized. To some extent, operating manuals can be replaced by visual assistants using Augmented Reality technologies. However, the manual skills themselves need to be trained the hard way.

The use of force-feedback for manual training is largely accepted in the medical sector, where the access to cadavers is becoming ever more difficult, and the physical dummies are far from satisfactory [10]. The same drives are not valid in the case of industrial manufacturing. Nevertheless, some authors have been able to demonstrate the benefits of using force-feedback for the acquisition of manual skills in the automotive industry [11, 12]. If the implementation of such complex training

simulators is not economically justifiable for a classical assembly line, we can expect that they will be part of the smart factory of the future.

5 Conclusion

Force-Feedback is not in any way a new technology. It has been in daily use in nuclear fuel plants in the last 3 years, and it is well-known to computer gamers. But as far as the industry is concerned, it has been restricted to very small niches, with little success. The new challenges faced by the Industry 4.0 movement and the advent of the smart factory might see a rebirth of that technology. In this article, we have given examples of applications for the product lifecycle, the productions standards, and the acquisition of skills.

References

[1] *Goertz, R.; Thompson, R.: Electronically controlled manipulator. In: Nucleonics, 1954, pp. 46–47*

[2] *Coiffet, P.; Vertut, J.: Teleoperation And Robotics – Evolution And Development (V. 3A). Kluwer Academic Publishers Group (Netherlands), 1985*

[3] *Massie, T.H.; Salisbury, K.: The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects. In: Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, Chicago, IL, November 1994*

[4] *McNeely, W.A.; Puterbaugh, K.D.; Troy, J.J.: Six degree-of-freedom haptic rendering using voxel sampling. In: Proceedings of SIGGRAPH'99, pp. 401-408*

[5] *Seth, A.; Vance, J. M.; Oliver, J. H.: Combining dynamic modeling with geometric constraint management to support low clearance virtual manual assembly tasks. In: ASME Journal of Mechanical Design, 132(8), 2010*

[6] *Perret, J.; Kneschke, C.; Vance, J. M.; Dumont, G.: Interactive Assembly Simulation with Haptic Feedback. In: Assembly Automation, Volume 33, Issue 3, April 2013*

[7] *Perret, J.; Jeanne, B.; Debaene, F.: A Distributed Architecture for Software-In-the-Loop Haptic-Enabled Cockpit Simulation. In: Proceedings of the Joint Virtual Reality Conference (JVRC 2010)*

[8] *Bönig, J.; Perret, J.; Fischer, C.; Weckend, H.; Döbereiner, F.; Franke, J.: Creating realistic human model motion by hybrid motion capturing interfaced*

with the digital environment. In: Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2014), San Antonio, Texas, USA

[9] Dombrowski, U.; Stefanak, T.; Perret, J.: Interactive simulation of human-robot collaboration using a force feedback device. In: 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy

[10] Vander Poorten, E.B.; Perret, J.; Muyle, R.; Reynaerts, D.; Vander Sloten, J.; Pintelon, L.:To Feedback or not to Feedback – the Value of Haptics in Virtual Reality Surgical Training. In: Proceedings of the Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality (2014)

[11] Ortega, M.; Coquillart, S.: Prop-based haptic interaction with co-location and immersion: an automotive application. In: IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications, 2005

[12] Bluteau, J.; Coquillart, S.; Payan, Y.; Gentaz, E.: Haptic Guidance Improves the Visuo-Manual Tracking of Trajectories. In: PLoS ONE 3(3): e1775. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001775, 2008

Bedienkonzepte maschineller Anlagen und deren virtuelle Validierung

Goldhahn, L.[1], Bock, D.[1]

[1] Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,
Institut InnArbeit - Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft

Abstract

Die erforderliche Vielfalt der Produkte führt immer mehr zu Sondermaschinen und Maschinen mit konstruktiv-technologischen Anpassungen. Die Modularisierung der Anlagen schafft dafür konfigurierbare Komponenten. Die Mensch-Maschine-Interaktion muss ebenso zielgerichtet gestaltet werden. Deshalb ist die Entwicklung eines Bedienkonzeptes mit einem virtuellen Baukasten zur flexiblen Auswahl möglicher Anlagenbedienfunktionen erstrebenswert. Es soll ein System zur Verfügung gestellt werden, welches einerseits durch klare Bedienregeln definiert ist, aber auch intuitiv und nachvollziehbar implementier- und steuerbar den virtuellen Planungsprozess und dessen Validierungen erleichtert. Damit ist eine Erstellung des virtuellen Modells bereits in der Projektierungsphase der Anlagen unter vereinfachten Bedingungen möglich. Im Beitrag wird dieser virtuelle Baukasten, welcher verschiedene Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine enthält, anhand der virtuellen Trainingsfabrik am Virtual-Reality-System der Hochschule Mittweida vorgestellt.

1 Motivation

Für die Hersteller im Maschinen- und Anlagenbau wachsen stetig die Anforderungen an zukünftige Technologien, Prozesse und Produkte, in Verbindung mit dem zunehmenden Kundenwunsch nach weitgehender Spezifizierung der Maschine. Gleichzeitig besteht der Wunsch, durch innovative Konzepte eine intuitive Bedienbarkeit der Anlagen zu erzielen. So kann einerseits den Wünschen der Kunden nach anwenderfreundlicher, auf das Wesentliche beschränkter Bedienung entsprochen sowie Fehlbedienungen verringert werden. Andererseits wird dem eigenen Interesse hinsichtlich unproblematischer und kostengünstiger Einrichtung, Wartung oder Fehlerbehebung nachgekommen. Spätere Änderungen des Bedienkonzeptes sind bisher kaum praktikabel, werden durch eine virtuelle Abbildung aber denkbar, bspw. mittels szenarienbasierter Projektierung.

Ein Hilfsmittel für die ökonomisch sinnvolle Bewältigung derartiger Probleme ist die Virtual-Reality-Technologie. In dieser kann der Entstehungsprozesses einer automatisierten Anlage bspw. durch virtuelle Interaktionen oder virtuelle Inbetriebnahmen unterstützt werden. Vom Menschen auszuführende Bedienhandlungen sind dafür in virtueller Realität geeignet darzustellen und die Reaktionen der virtuellen Maschinen mittels Sensorik, Informationsverarbeitung und Aktorik möglichst realitätsnah abzubilden. Mittels eines Baukastens soll eine verbesserte Wiederverwendung verschiedener Komponenten für virtuelle maschinelle Anlagen erzielt werden.

2 Bedienkonzepte maschineller Anlagen

2.1 Standardisierte Bedienkonzepte

Mittels der vier Elemente (Aufgabenstruktur, Abläufe, Bedienobjekt und Nutzergruppe) lässt sich das gesamte Bedienkonzept (Bild 1) aufgabenorientiert und zunächst plattform- und auch weitgehend hardwareunabhängig beschreiben.

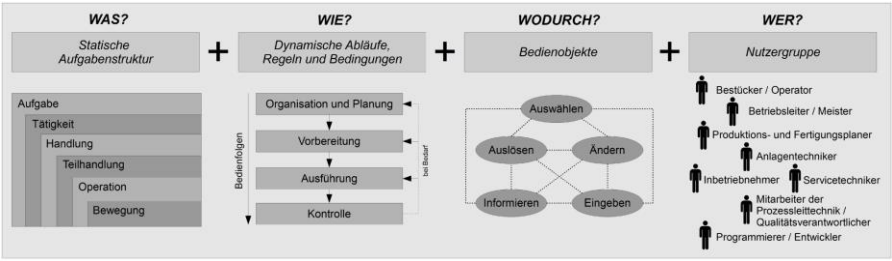


Bild 1: Elemente des Bedienkonzepts [1]

Zunächst ist die statische Aufgabenstruktur zu erfassen. Dabei werden die im Rahmen der Gesamtaufgabe erforderlichen Bedienhandlungen festgelegt. Auf dieser Grundlage sind im Zusammenspiel mit den technischen Erfordernissen der Anlage (notwendige Ablauffolgen, Regeln und Bedingungen) und unter Beachtung sonstiger Randbedingungen, die die Ausführung des Bedienprozesses beeinflussen, die Abläufe zur Erfüllung der jeweiligen Bedienhandlung festzulegen. [2] Daraus ergeben sich u. a. die zu verwendenden Bedien- und Hilfsmittel. Anschließend ist zu ermitteln, mittels welchen Bedienobjektes sich die einzelnen Ablaufelemente zweckmäßig erfüllen lassen. Dadurch definiert sich das eigentliche Softwarekonzept, ohne dabei auf eine bestimmte Anwendung festgelegt zu sein. Im letzten Schritt ist, um der Forderung nach einem auf die Art des Bedieners eingehenden Konzepts nachkommen zu können, festzulegen, welche Nutzergruppe die Berechtigung für die jeweilige Handlung besitzt. Dafür können jeweils die beschriebenen morphologischen Kästen zur Anwendung kommen. [3]

2.2 Mensch-Maschine Interaktion

Die Interaktion ist ein „wechselseitiger Austausch von Daten zwischen einem Operator und einem System“ [4]. Diese Sicht ist im Fall von maschinellen Anlagen um physische (Teil-) Handlungen und Operationen zu ergänzen.

Die typische Schnittstelle zwischen Mensch und automatisierter Maschine im Anlagenbau wird durch unterschiedliche Ausprägungen von z. T. technisch anspruchsvollen Geräten, welche in der Lage sind, Funktionen auf Anweisung des Benutzers zu beeinflussen bzw. über Zustände zu informieren, geprägt. „Als interaktiv wird ein System bezeichnet, bei dem der Benutzer durch Bedienhandlungen den Arbeitsablauf des Systems beeinflussen kann.“ [5] Bild 2 zeigt das Prinzip der typischen Interaktion von automatisierter Fertigungsmaschine und Bediener.

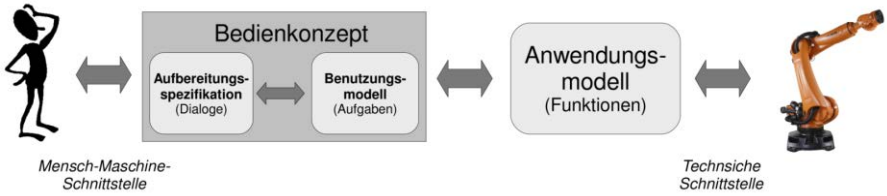


Bild 2: Einordnung der Mensch-Maschine-Interaktion (vgl. [6])

2.3 Virtueller Baukasten

In den letzten Jahren haben sich Software-Werkzeuge im Bereich von Desktop- oder Web-Anwendungen etabliert und stehen weitgehend als vereinheitlichte Baukästen von Interaktions- und Präsentationselementen zur Verfügung. Im Bereich von Virtual Reality müssen hingegen häufig selbst grundlegende Interaktionstechniken neu implementiert werden, so dass bereits hier mit Interaktionsproblemen gerechnet werden muss. [7]

Der virtuelle Baukasten soll Planer, Nutzer und Bediener der Anlage bei der Interaktion mit dem virtuellen Modell unterstützen. Die im Baukasten auswählbaren Szenarien, logischen Elemente, Aktoren, Anzeigeelemente u.a. sollen für den Nutzer möglichst geringen Anpassungs- und Programmieraufwand mit sich bringen, um bspw. Interaktionsprobleme zu eliminieren. Dafür wurden unter anderem Eingabe- und Signalelemente sowie ein virtuelles Bedienpanel mit bereits vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten entwickelt.

3 Konzept der virtuellen Validierung

3.1 Virtuelle Validierung von Bedienkonzepten

Der Test von Bedienkonzepten an realen Anlagen erfordert einen hohen Ressourceneinsatz und birgt ein erhebliches Gefährdungspotential. Meist werden dann durch iterative Verbesserungen des Bedienkonzeptes erhebliche Ressourcen benötigt. Wirtschaftlicher ist die Entwicklung und Prüfung des Bedienkonzeptes in der Projektierungsphase der Anlage. Außerdem soll für die Maschinenbediener möglichst vor realer Inbetriebnahme eine durchgängige, qualitativ hochwertige Schulung angeboten werden.

Ein Lösungsansatz ist der Aufbau eines virtuellen Anlagenmodells mit der Abbildung der benötigten Maschinenfunktionalitäten, um ein realitätsnahes Testen der Mensch-Maschine-Interaktion zu gewährleisten. Damit kann das entwickelte Bedienkonzept validiert werden und die zukünftigen Maschinenbediener können anhand dieses virtuellen Modells bereits Schulungen im Umgang mit der Maschine durchführen. Entsprechend erkennt man Fehler im Planungszustand der Anlage frühzeitig und korrigiert diese relativ zügig und kostengünstig. [8]

3.2 Komponenten der virtuellen Bedienung

Für die Bedienung einer virtuellen Anlage wurden drei Varianten unterschiedlicher Virtualität bezüglich der Bediengeräte und des Bedieners aufgestellt und erprobt [10].

Eine Variante mit virtuellem Bediengerät einer Anlage, Interaktionsgeräten und realem Mensch mit seinen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten zeigt Bild 3. Zum Bereich der Virtualität gehört die Software IC.IDO von der Firma ESI, in welcher das 3D-Modell nach verschiedenen Anpassungen (bspw. die Definition der Aktoren oder die Festlegung der zu animierenden Objekte und Achsen) verfügbar ist. Mit dem Softwaremodul IDO.Script wird bspw. der Quellcode zur Bewegung der Aktoren (Elemente der virtuellen Anlage) hinterlegt. Ebenfalls in diesen Bereich gehört das virtuelle Bediengerät. Dafür sind Sensoren definiert und Freiheitsgrade festgelegt worden, nachdem die Objektstruktur in der IC.IDO aufbereitet wurde.

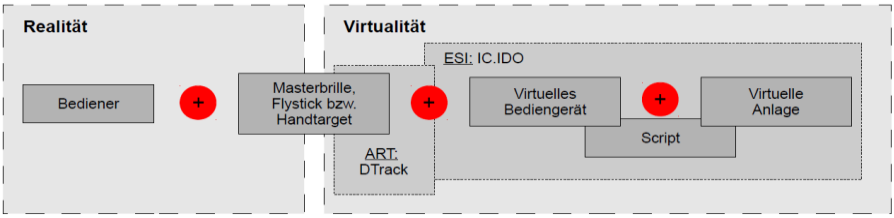


Bild 3: Komponenten der virtuellen Bedienung

Eine weitere Komponente, die im Bereich der Virtualität Verwendung findet, ist die Software DTrack der Firma ART. Diese Software erfasst die Positionen der mit Masterbrille, Flystick und speziellen Markern getrackten Objekte und Nutzer der VR-Anlage.

4 Validierung am Beispiel Trainingsfabrik

4.1 CAD-Modellierung und -Konvertierung

Als Grundlage für die realistische und funktionsfähige Gestaltung der virtuellen Trainingsfabrik dient das in SolidWorks erstellte Modell. Nach der Konstruktion im CAD-Programm erfolgt der Export der Daten in ein universelles Austauschformat für 3D-Objekte (z. B. VRML (standardisiertes Format – Norm ISO/IEC 14772-1 [9])).

Zur Erstellung einer Animation oder Simulation ist es zunächst notwendig, die übergebenen Daten in der Software IC.IDO der ESI Group weiter aufzubereiten. Zum Aufbau komplexerer Bewegungssimulationen (bspw. für das Hochregallager oder den Roboter als Teile der Anlage) sind zunächst Überlegungen bzgl. der Bewegungsabläufe im Modell notwendig, um entsprechend das Anlegen der kinematischen Ketten als Simulationsobjekte richtig zu planen.

Für die Funktionssimulation des Roboters gibt es ortsfeste Bauteile (z. B. Robotersockel), welche zwar statische Kollisionen anzeigen können, aber nicht bewegt werden. Für die Bewegungssimulation des Roboters wird mittels des IC.IDO-Moduls IDO.SolidMechanics für alle Achsen eine kinematische Kette aufgebaut. Diese Kette ist so zu konzipieren, dass bspw. der gesamte Roboter einer Bewegung um die erste Achse folgt oder und somit eine realistische Simulation zeigt. Für das Hochregallager, das Transportband u. a. Komponenten der Trainingsfabrik wurden ebenfalls Simulationen entwickelt.

4.2 Virtuelles Bediengerät

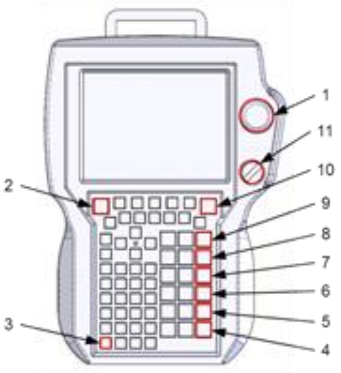
Die geometrischen Daten des Bediengerätes wurden ebenfalls in einem CAD-Programm erzeugt, entsprechend der Erfordernisse in ihrer logischen Objektstruktur angepasst und als VRML-Dateien exportiert.

Mit dem virtuellen Bediengerät können u. a. folgende Bedienfunktionen umgesetzt werden:

- Start des bestimmungsgemäßen Prozesses (Automatikbetrieb)
- NOTAUS-Funktion und Wiederanlauf nach NOTAUS
- Verfahren ausgewählter Achsen per Hand (Handbetrieb)

Um eine Interaktion zwischen Trainingsfabrik und virtuellem Bediengerät zu schaffen, sind am Bediengerät ausgewählte Knoten für Funktionen angelegt worden. Diese werden aus Tabelle 1 ersichtlich. Alle Bewegungsknoten werden entlang nicht bewegter Koordinatenachsen gesperrt und in der bewegten Achse eingeschränkt, damit sich die Bewegungsknoten nur in einem vordefinierten Bereich bewegen lassen. Als Funktionselemente am Bedienpanel dienen ausgewählte virtuelle Tasten (Sensoren), welche mit einer bestimmten Funktionalität (Bewegung/Auswahl der Aktoren) hinterlegt sind.

Tabelle 1: Ausgewählte Sensoren und deren Funktion

Ausgewählte Sensoren am Bediengerät	*Nr.*	*Name der Sensoren*	**Funktionalität**
	*1*	*Notaus*	*Notaus (Unterbrechen des Programmablaufs bzw. Wiederanlauf nach Notaus)*
	2	*Taster_pos*	*manuelle Rotation im mathematisch positiven Drehsinn*
	3	*Automatik*	*Start des Automatikprogramms*
	4	*Taster_F*	*Auswahl der 6. Achse*
	5	*Taster_E*	*Auswahl der 5. Achse*
	6	*Taster_D*	*Auswahl der 4. Achse*
	7	*Taster_C*	*Auswahl der 3. Achse*
	8	*Taster_B*	*Auswahl der 2. Achse*
	9	*Taster_A*	*Auswahl der 1. Achse*
	10	*Taster_neg*	*manuelle Rotation im mathematisch negativen Drehsinn*
	11	*Drehschalter*	*Auswahl des Greifers*

4.3 Interaktion zwischen virtuellem Bediengerät und Komponenten der Trainingsfabrik

Ziel ist es, auf Bedienhandlungen des Menschen hin Reaktionen des technischen Systems in virtueller Realität abzubilden. Die Interaktion zwischen dem Bediengerät und der Trainingsfabrik erfolgt unter Zuhilfenahme des Moduls IDO.Script. Ausgewählte, zu bedienende Tasten des Bediengerätes und zu animierende Elemente der Trainingsfabrik bzw. des Roboters werden in der IC.IDO als separate Objektknoten angelegt. Die Knoten des Bediengerätes dienen als Sensoren, die Knoten der Trainingsfabrik bzw. des Roboters als Aktoren. Die Aktoren sind mittels erstellter kinematischer Ketten logisch mit weiteren Knoten verbunden.

Mittels geeigneter realer und virtueller Eingabegeräte (z. B. Flystick) wird das virtuelle Modell der Trainingsfabrik durch den Bediener steuerbar. Die Schnittstelle zwischen (realem) Mensch und virtueller Maschine bilden somit die VR-Hardware-Eingabegeräte am virtuellen Bediengerät.

Bild 4 zeigt im Vordergrund das virtuelle Bediengerät, mit welchem verschiedene Bewegungen der Roboterachsen und Ereignisse (z. B. Start bzw. Unterbrechen des automatischen Programmablaufs) der Trainingsfabrik durch den Bediener ausgeführt werden können. Dies soll durch eine virtuelle Bedienhandlung auf dem Bediengerät geschehen, wobei die dafür notwendige (Bedien-) Handlung durch den Bediener auszuführen ist. Als Reaktion auf diese reale Bedienhandlung startet bzw. unterbricht die virtuelle Trainingsfabrik bzw. der virtuelle Roboter den vorgegebenen Bewegungsablauf.

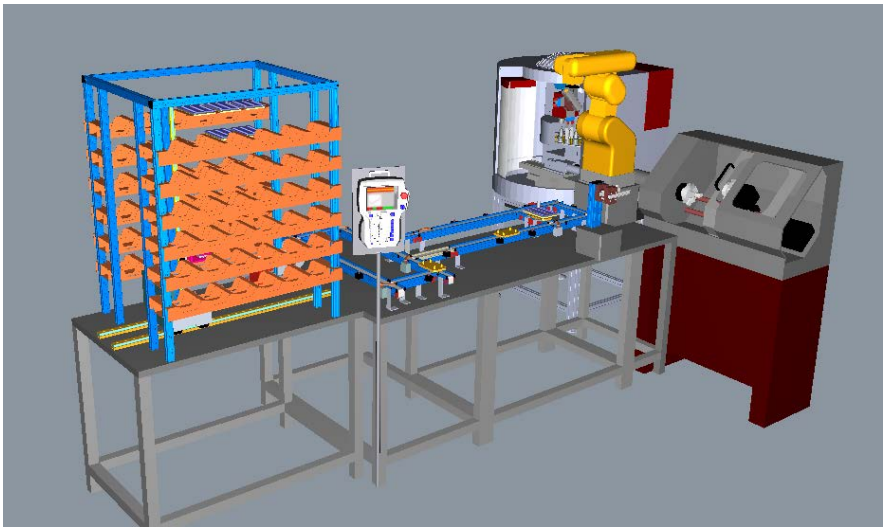


Bild 4: Trainingsfabrik mit virtuellem Bediengerät

5 Fazit

Durch ein entwickeltes standardisiertes Bedienkonzept und dessen virtuelle Abbildung wird die zielgerichtete Projektierung neuer Anlagen unterstützt. Anlagenspezifische Bedienhandlungen und Bedienstellen können sehr gut entworfen, visualisiert und realitätsnah getestet werden. Eine Reduzierung möglicher Bedienfehler ist durch die Nutzung eines virtuellen Baukastens mit Werkzeugen wie bspw. dem virtuellen Bedienpanel zu erwarten. Die Modifizierung und Implementierung bzgl. der Interaktionsmöglichkeiten für die jeweilige Anlage können schneller und kosten-

günstiger erfolgen. Fehler im Produktionsablauf werden eher und zielführender lokalisiert und behoben.

Literaturangaben

[1] Goldhahn, L.; Bock, D.: Modellierung von Bedienhandlungen in Virtual Reality-Umgebungen. In: Prozessentwicklung 4.0. Scientific Reports. 24. Internationale wissenschaftliche Konferenz Mittweida, 2015, Nr. 2, S. 13-16

[2] Zühlke, D.: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen: Useware-Engineering für technische Systeme, 2.Aufl. Berlin: Springer, 2012

[3] Goldhahn, L.: Entwicklung eines lebenszyklusorientierten Bedienkonzeptes für automatische Montageanlagen. In Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., 2016

[4] VDI/VDE Richtlinie 3699 – Prozessführung mit Bildschirmen. Berlin, Beuth

[5] Heinecke, A. M.: Mensch-Computer-Interaktion: Basiswissen für Entwickler und Gestalter. -2. Auflage- Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2012

[6] Schenk, J.; Rigoll, G.: Mensch-Maschine-Kommunikation: Grundlagen von sprach- und bildbasierten Benutzerschnittstellen. – 1. Auflage - Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010

[7] Dörner, R.; Geiger, C.; Oppermann, L.; Paelke, V.: Interaktionen in Virtuellen Welten in Virtual und Augmented Reality (VR/AR) In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, S. 157ff.

[8] Goldhahn, L.; Bock, D.; Sewohl, R.; Thümer, C.: Skript-basierte Animation von Bedienhandlungen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Carl Hanser Verlag, München, 2015, Heft 3, S. 88-93

[9] ISO/IEC 14772-1:1997-12, Informationstechnik - Computergraphik und Bildverarbeitung - Virtuelle Realitätsmodellsprache - Teil 1: Funktionelle Spezifikation und UTF-8-Codierun, Berlin, Beuth, 1997

[10] Goldhahn, L.; Thümer, C.; Bock, D.: Systematisierung und virtuelle Abbildung von interaktiven Bedienvorgängen an automatisierten Sonderanlagen. In: Bullinger A. C. (Hrsg.): Mensch 2020 – transdisziplinäre Perspektiven. Tagungsband. Innteract Conference Chemnitz, Verlag aw&I Wissenschaft und Praxis, 2015

Markerloses Tracking und bildbasierte Validierung von Schraubvorgängen

Herbort, S.[1]; Willneff, J.[1]; Jagiella, N.[1]; Schröder, F.[1]; Kiechle, P.[1]; Abouee, A.[1]

[1] Advanced Realtime Tracking GmbH, Weilheim

Abstract

Bei klassischen Trackinganwendungen wird die 6D-Pose (Position und Orientierung) eines Objekts im Raum mittels spezieller am Objekt angebrachter Marker bestimmt. In vielen Situationen wäre es jedoch wünschenswert auf künstliche Marker verzichten zu können. Dazu werden die Lokalisierungsinformationen rein basierend auf dem Aussehen eines Objekts in Echtzeit bereitgestellt. Das vorgestellte System realisiert das markerlose Objekttracking durch die Verfolgung von Bildmerkmalen d.h. Punkte oder Kanten, die an fast allen natürlichen Objekten vorhanden sind. Neben diesem Trackingsystem wird ein ebenfalls markerlos arbeitender Ansatz zur Lokalisation von Werkzeugen vorgestellt. Konzeptionell wird die Bestimmung des Ortes durch faltende neuronale Netze (convolutional neural networks, CNNs) realisiert.

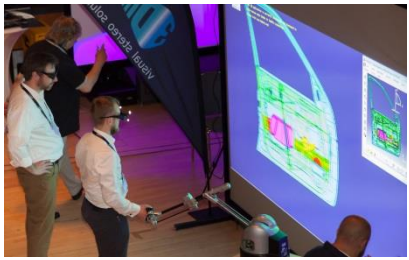
1 Einleitung: Trackingsysteme

Anwendungen in den Bereichen Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) verwenden zur Erzeugung bzw. Steuerung des dargestellten Bildinhalts die Kopfposition und -orientierung des jeweiligen Nutzers bzw. einer Kamera. Daneben müssen zur Navigation in virtuellen Umgebungen und zur Manipulation virtueller Objekte auch die Positionen geeigneter Interaktionsgeräte bekannt sein. Die darstellenden VR/AR-Systeme reichen dabei von geschlossenen Head Mounted Displays (HMDs wie z.B. Oculus Rift oder Vive, siehe Bild 1, links) über AR-Brillen (Microsoft Hololens) bis hin zu stereoskopischen Powerwalls im professionellen Umfeld (siehe Bild 1, Mitte). Als geeignetste Tracking-Technologie für diese Anwendungen hat sich in den vergangenen Jahren markerbasiertes optisches Tracking etabliert.

Neben VR/AR-Szenarien existiert allerdings eine große Bandbreite artverwandter Szenarien, bei denen Position und Orientierung von *Objekten* bestimmt werden muss. Dies ist insbesondere im industriellen Umfeld der Fall.

Vom technischen Blickwinkel her ist es die Aufgabe eines optischen 6D-Trackingsystems, die 6D-Pose[1] des Targets[2] kontaktlos, präzise, wiederholbar und schnell zu berechnen. Die Genauigkeit entscheidet z.B. in AR-Szenarien, wie gut sich eine dargestellte Augmentierung mit der realen Welt überlagert; bei einer hohen Güte der Wiederholbarkeit ist dies auch sehr stabil (wenig „Jitter“, bzw. "Drift"). Die Berechnungsgeschwindigkeit entscheidet über die Verzögerung („Delay“) der Messung, die schon im Bereich von $10ms$ beim HMD Tracking zur Simulatorkrankheit („simulator sickness“) führen kann.

Industrielle Messsysteme zur kontaktlosen Erfassung der 6D Objektpose existieren in verschiedenen Formen. Bekannt sind insbesondere markerbasierte Systeme, die im unsichtbaren Infrarotbereich[3] oder auch im teilweise sichtbaren Lichtspektrum arbeiten[4].



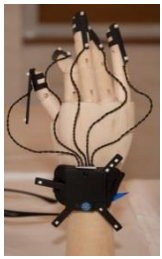


Bild 1: Beispiele für 6D-Trackingapplikationen für VR-Szenarien.
Links: HMD Tracking. Mitte: Powerwall. Rechts: Fingertracking.

Zur Berechnung der Pose werden direkt am Objekt retroreflektive Marker mit einer dem System bekannten Anordnung angebracht (siehe z.B. Tracking der Brille in Bild 1, Mitte).

Für alle genannten Szenarien wäre es wünschenswert auf die künstlichen Marker zur 6D Posenberechnung verzichten zu können. Für Anwendungen, in denen nicht ständig das *selbe* Objekt, sondern verschiedene *gleiche* nacheinander getrackt werden, ist der Verzicht oft sogar die Voraussetzung für eine technische Umsetz-

[1] Die 6D Pose besteht aus der Position (3 Freiheitsgrade) und der Orientierung (3 Freiheitsgrade)

[2] Ein „Target“ bezeichnet zunächst eine dem Trackingsystem bekannte Markeranordnung, die dann fix an dem zu verfolgenden Objekt angebracht wird; die Begriffe *Target* und *Objekt* werden daher teilweise synonym verwendet.

[3] Hersteller ist beispielsweise die Advanced Realtime Tracking GmbH

[4] Hersteller ist beispielsweise VICON

barkeit des Szenarios. Beispielsweise müssen bei der Produktion im Fahrzeugbau Karosserien getrackt werden, um auf der Positionierung basierend mit einem Roboter verschiedene Arbeitsschritte durchführen zu können (siehe Bild 2).

In den folgenden Abschnitten werden zwei verschiedene Systeme vorgestellt, die rein basierend auf Bildinformationen ohne verfügbare Marker die fortlaufende 6D Pose eines Objekts bzw. die Lokalisierung eines Werkzeugs bereitstellen.

Bild 2: Eine momentan in der Fertigung befindliche Karosserie kann gerade bei der Fließfertigung oft nicht mit (retroreflektiven) Markern zur Bestimmung der 6D Pose versehen werden.

2 Markerloses Outside-In Tracking

Generell kann bei kamerabasierten Trackingsystemen zwischen Inside-Out und Outside-In Systemen unterschieden werden [1]. Kennzeichnendes Merkmal ist dabei die Kameraposition: Inside-Out Systeme verwenden eine am zu trackenden Objekt montierte Kamera. Bei Outside-In-Systemen werden hingegen mehrere fest verbaute Kameras mit kalibrierter (d.h. bekannter) Position/Orientierung und überdeckendem Messvolumen eingesetzt, die ein mit Markern besetztes Objekt tracken. Durch die Kombination mehrerer Blickwinkel erreicht das Outside-In Tracking im Vergleich zum Inside-Out Tracking eine höhere Positions-Genauigkeit – allerdings meist auf Kosten der Winkelgenauigkeit.

Bild 3: Schematischer Aufbau eines Outside-In Trackingsystems mit mehreren, fix positionierten Kameras. Bei den markerlos verfolgten Objekten wird hier zwischen texturierten Objekten (links) und homogenen Objekten (rechts) unterschieden.

Das im Folgenden beschriebene System von A.R.T. folgt der Architektur eines Outside-In Trackingsystems mit zentraler Recheneinheit (siehe Bild 3).

Bei den nun vorgestellten Systemen wird zwischen einem Feature-basierten Tracking für texturierte Objekte (siehe Bild 3, die linken beiden Objekte im Trackingvolumen) und für homogene Objekte (siehe Bild 3, die rechten beiden Objekte im Trackingvolumen) unterschieden.

2.1 Feature-basiertes Outside-In Tracking

Das Prinzip des Feature-basierten Outside-In Trackings ist angelehnt an die Verarbeitung der Daten für ein markerbasiertes Tracking: Zunächst werden objektfeste Bildmerkmale (Features) bestimmt und zusätzlich mit einer Signatur für die spätere Zuordnung versehen. Die Features werden dann kameraweise in 2D verfolgt und zwischen den Kameras trianguliert, um 3D Merkmale zu erhalten. In der Menge vorhandener 3D-Merkmale wird dann die Initiale Pose des Objekts detektiert (catching / fangen), woraufhin ein Fortsetzungsprozess beginnt, mit dem das Objekt im Raum verfolgt wird. In den folgenden Abschnitten wird auf die verschiedenen Mechanismen nun einzeln eingegangen.

Als *Punktfeatures* bezeichnet man in der Computer Vision eindeutige Bild-Punkte (2D), die in aufeinander folgenden Frames erkannt und trotz Objektbewegungen zugeordnet werden können. 2D-Featurepunkte sind bereits gut erforscht und es existieren in der Literatur verschiedene Verfahren für deren Extraktion [2] [3] [4] [5].

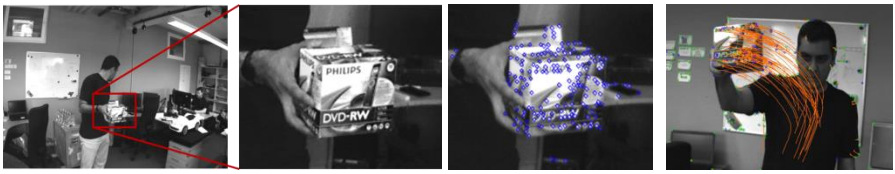


Bild 4: Illustration zur Detektion und 2D-Verfolgung von Featurepunkten. Von links nach rechts: Exemplarisches Kamerabild, Vergrößerung, detektierte Featurepunkte auf dem Objekt, zeitlich verfolgte Featurepunkte in 2D (orange).

Bild 4**:** illustriert die Erkennung und Verfolgung der einzelnen Features. Wichtig ist für ein echtzeitfähiges System, dass auch die Featureextraktion möglichst zeiteffizient durchgeführt wird. Im vorgestellten System kommt daher der FAST Algorithmus [4] zum Einsatz. Zur finalen Auswahl gut geeigneter Merkmale dient die Harris Corner Score [6]. Je nach Szene werden ca. 150 bis 2000 Featurepunkte pro Bild extrahiert.

Zur Verfolgung der einzelnen Features in aufeinander folgenden Kamerabildern werden diese mit einer Signatur („Deskriptor“) versehen. Übereinstimmende Featurepunkte in verschiedenen Bildern weisen dann eine geringe Deskriptor-Distanz bzw. eine hohe Deskriptor-Ähnlichkeit auf. Analog zur Feature-Extraktion existieren

auch hier bereits umfangreiche Arbeiten in der Literatur (z.B. [2] [7] [8] [5]). Aus Effizienzgründen wird ein Deskriptor mit binärer Signatur verwendet [8].

Nach Abschluss dieser ersten Systemphase stehen somit zeitlich verfolgte 2D-Merkmale in jeder Kamera zur Verfügung.

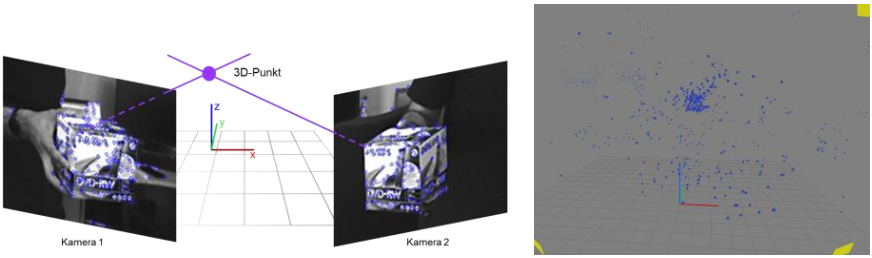


Bild 5: Berechnung von 3D-Korrespondenzen aus korrespondierenden 2D-Features in mehreren Kameras (links). Daraus ergibt sich eine ganze Punktewolke (rechts), in der das zu Objekt identifiziert und verfolgt werden muss.

Mit den Positionen der Merkmale im Bild und den bekannten Kamerapositionen und -Orientierungen im Weltkoordinatensystem ist es nun möglich, 3D-Korrespondenzen zwischen zusammengehörenden Features in verschiedenen Kameras zu bilden. Dazu werden entlang der Sichtrichtungen der einzelnen Features Strahlen konstruiert, an deren Schnittpunkt sich dann der 3D-Featurepunkt befindet (siehe Bild 5, links). Daraus ergibt sich eine 3D Punktewolke im Weltkoordinatensystem (siehe Bild 5, rechts).

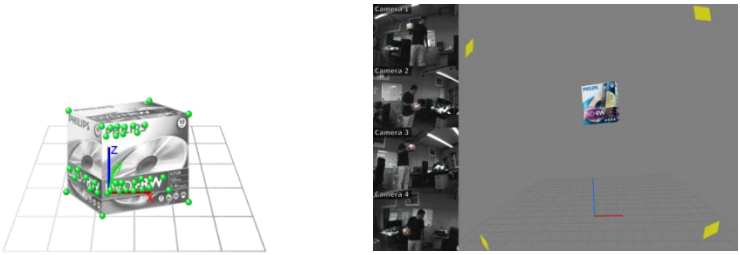


Bild 6: Die Objektkalibrierung (links) liefert die Positionen von 3D-Featurepunkten im Objektkoordinatensystem. In der 3D Punktewolke (siehe Bild 5, rechts) kann diese Geometrie dann identifiziert und damit das Tracking initialisiert werden („catching“).

In der Punktewolke wird die initiale Pose des Objekts anhand der Geometrie der Objektkalibrierung (siehe Bild 6, rechts) identifiziert. Mit einer bekannten Initialpose kann dann das Objekt über ein Fortsetzungstracking über eine Sequenz von Bildern verfolgt werden.

Angaben zur Performanz des Systems sind in Abschnitt 2.3 zu finden.

2.2 Kanten-basiertes Outside-In Tracking

Neben texturierten Objekten, auf denen eine Vielzahl von Featurepunkten detektiert werden können (siehe Abschnitt 2.1), existiert vor allem im industriellen Umfeld eine Vielzahl flächiger Objekte, die nur wenig Struktur aufweisen (siehe Bild 7, links). Auf Grund der nicht verlässlichen Featurepunkte muss für ein effektives Tracking auf eine andere Form von Bildmerkmalen zurückgegriffen werden. Ein typischer Ansatz besteht hier in der Verfolgung von Objektkanten (siehe Bild 7, links), wie z.B. in [9] vorgestellt. Dabei konzentriert man sich auf kurze, signifikante Kantenstücke („Edgelets“, siehe die in Bild 7 grün visualisierte Kantenstücke).

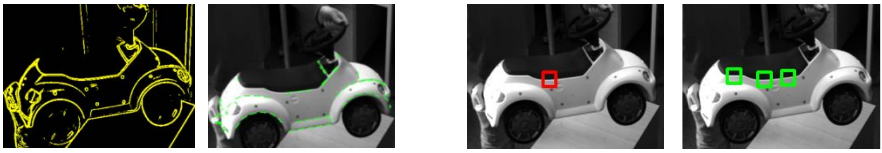


Bild 7: Ein untexturiertes Objekt eignet sich für ein kantenbasiertes Tracking, bei dem Anstatt Featurepunkte dann Kantenstücke, d.h. „Edgelets“ mit starken Gradienten (links / 2. von links), als charakteristische Merkmale getrackt werden. Im Gegensatz zu Featurepunkten ist die Zuordnung eines Kantenstücks zum Objekt jedoch nicht immer eindeutig (2. von rechts / rechts).

Im Gegensatz zu Featurepunkten ergeben sich beim Tracking jedoch zwei zentrale Unterschiede:

- Einerseits stehen für die Edgelets keine Deskriptoren zur Verfügung, da diese lediglich einen signifikanten Übergang von verschiedenen Helligkeitsbereichen darstellen [9]. Dies erschwert die Zuordnung, was in Bild 7 (rechts) illustriert ist: Bei Betrachtung des rot umrandeten Bereichs ist es kaum möglich, die korrekte grüne Entsprechung eindeutig zu identifizieren, da alle Fenster sich vom Bildinhalt sehr ähneln.
- Kanten können nur entlang *einer* Richtung (senkrecht zum Kantenverlauf) verfolgt werden. Bild 8 (rechts) zeigt hierzu, wie die bildbasierte Verfolgung der Edgelets durchgeführt wird.

Aus diesen Unterschieden folgt die Notwendigkeit einer im Vergleich zum featurebasierten Tracking neuen Herangehensweise für das Finden der Initialpose („Catching“) und das von dort aus beginnende Fortsetzungstracking.

Das Catching erfolgt in Anlehnung an [10], indem ein möglichst vollständiger Datensatz des Objekts aus vielen verschiedenen Richtungen mit zugehöriger 6D Pose aufgenommen wird (siehe Bild 8, links). Anschließend erfolgt über ein stark optimiertes, binäres Matchingverfahren [10] die Identifikation der Pose und eine Fusion der Informationen aus allen Kameras zu einer finalen 6D Ausgangspose.

Mit der im Catching-Schritt bestimmten Initialpose erfolgt in Anlehnung an [9] ein Fortsetzungstracking, bei dem die einzelnen Edgelets verfolgt werden (siehe Bild 8,

rechts). Idealerweise wird - wie beim featurebasierten Tracking - der Catching-Schritt nur einmalig durchgeführt, woraufhin das Objekt jeweils durch Verfolgung der Edgelets über die gesamte Sequenz getrackt wird. In der Praxis ist jedoch nach sehr schnellen oder ruckartigen Bewegung oft ein erneutes Catching notwendig.

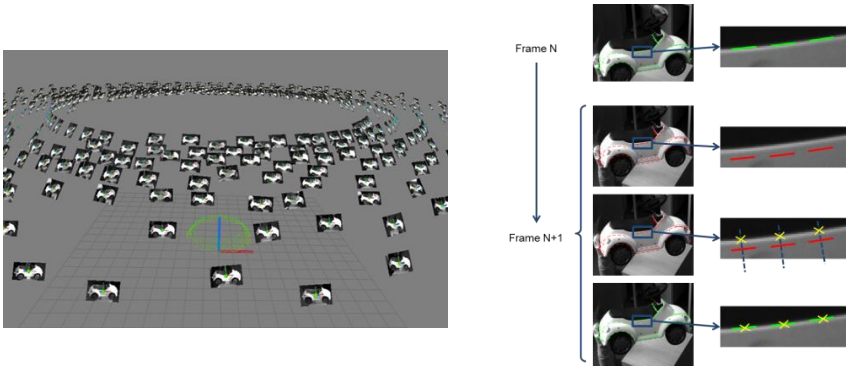


Bild 8: Modellbasiertes Catching und Tracking mit Kanten. Zur Identifikation der Initialpose wird ein umfangreicher Datensatz aufgenommen (links), dessen einzelne Aufnahmen dann effizient nach Übereinstimmungen durchsucht werden können. Mit der bekannten Initialpose können dann Kantenstücke („Edgelets“) nachverfolgt werden (links): Zunächst stimmen in Frame N die Modellkanten mit den Bildkanten überein. Das Objekt bewegt sich dann in Frame N+1 im Beispiel nach oben, wodurch die Übereinstimmung zwischen Modell- und Bildkanten nicht mehr gegeben ist. Die neuen Kantenpositionen werden dann senkrecht zu den projizierten Modellkanten gesucht. Mit den gefundenen Kanten kann dann eine Bündelausgleichsrechnung erfolgen [11], worüber die neue 6D Pose bestimmt wird.

2.3 Systemperformanz

Beide Trackingsysteme wurden bei ART im Rahmen des Forschungsprojekts ARVIDA[5] zunächst als Laborsystem entwickelt; im Anschluss an das Projekt erfolgten Weiterentwicklungen zu einem Demonstratorsystem und erste Tests in industriellen Szenarien für die Automobilindustrie.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht einiger wichtiger Performanz-Indikatoren. Für die Zukunft sind umfangreiche Arbeiten für das Catching und zur Steigerung der Genauigkeit geplant. Dies wird u.a. auch Inhalt zukünftiger Forschungsprojekten; Parallel wird die Produktisierung vorangetrieben. Pilotkunden können das System bereits in geeigneten Szenarien testen.

[5] www.arvida.de

	featurebasiert	**kantenbasiert**
Anzahl möglicher Kameras	4	8
Dauer für Catching (objektabhängig)	20...300 ms	50...500 ms
Berechnungs-Delay	30 ms	16 ms
Genauigkeit Position (szenarienabhängig)	$\pm 2mm$	$\pm 2mm$
Genauigkeit Rotation (szenarienabhängig)	$\pm 0.5°$	$\pm 0.5°$

Tabelle 1: Übersicht zur Performanz der beiden Trackingsysteme. Das kantenbasierte Tracking kann bereits mit der doppelten Kameraanzahl betrieben werden, benötigt für das Catching jedoch noch recht viel Zeit. Die Genauigkeit der beiden Systeme ist vergleichbar und wurde jeweils mit einem kommerziellen ART Trackingsystem als Referenz bestimmt.

3 Bildbasierte Validierung von Schraubvorgängen

In den folgenden Abschnitten wird ein bildbasiertes System beschrieben, das basierend auf der Zuordnung von Bildern zu bestimmten Klassen die Absicherung sicherheitsrelevanter bzw. dokumentationspflichtiger Schraubpunkte ermöglicht. Dies ist beispielsweise in der Automobilindustrie von großem Nutzen, wenn die korrekte Verschraubung in der Fließfertigung sichergestellt werden soll (siehe Bild 9).

Aus Sicht der Fertigung wird das verwendete Werkzeug mit einer Kamera versehen, die das jeweilige Arbeitsvolumen fortwährend beobachtet (siehe Schrauber in Bild 9 oben links). Je nach Position des Werkzeugs (auf einer bestimmten Verschraubung bzw. *nicht* an einem bestimmten Schraubpunkt) wird dann das Werkzeug freigeschaltet oder die Verschraubung entsprechend dokumentiert.

Aus wissenschaftlicher Sicht werden Verfahren aus der Musterklassifikation bzw. des maschinellen Lernens eingesetzt, um Kamerabilder einem von mehreren diskreten Schraubpunkten zuzuordnen (siehe Bild 9 rechts). Neben den Schraubpunkten wird zusätzlich erkannt, ob sich das Werkzeug *nicht* in der Nähe eines Schraubpunkts befindet („Garbage“-Erkennung).

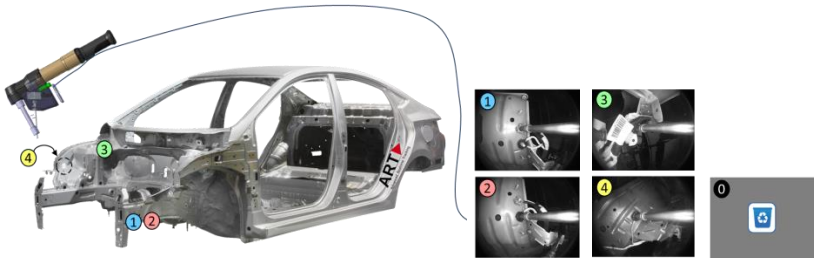


Bild 9: Beschreibung eines exemplarischen Anwendungsszenarios: Bei der Montage sicherheitsrelevanter Verschraubungen soll die korrekte Bearbeitung jeder einzelnen Verschraubung sichergestellt werden. Dazu wird das Schraubwerkzeug mit einer mobilen Kamera versehen, die die Umgebung fortlaufend beobachtet und die Bilder an eine zentrale Recheneinheit sendet. Je nach Inhalt der Bilder werden diese zu einer von mehreren diskreten Klassen (1, 2, 3, 4, 0) zugeordnet, die einem Schraubpunkt oder eben zu keinem Schraubpunkt (0 / „Garbage“) gehören. Damit kann dann der Schraubvorgang kontrolliert, gesteuert oder einfach dokumentiert werden.

3.1 Bildbasierte Klassifikation im VERPOSE®-System

Eine in den letzten Jahren sehr populär gewordene Vorgehensweise zur Klassifikation von Bildinhalten ist ein sogenanntes faltendes neuronales Netz (Convolutional Neural Network, „CNN“, [12]). Auf Grund des Komplexität dieses Ansatzes wird im Folgenden wird eine Übersicht zu den wichtigsten Eigenschaften und Prinzipien gegeben. Details können der zitierten Literatur entnommen werden.

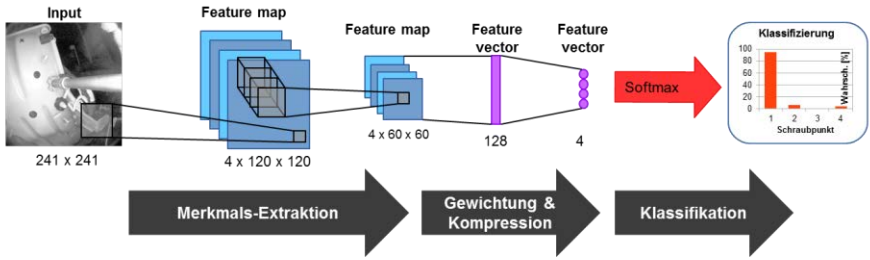


Bild 10: Struktur und Funktionsprinzip eines faltenden neuronalen Netzwerks (Convolutional Neural Network, CNN); erklärende Informationen sind im Text zu finden.

Eine Übersicht zur Funktionsweise eines CNN ist in Bild 10 dargestellt. Im Wesentlichen werden Merkmale automatisch extrahiert, gewichtet, komprimiert und zuletzt klassifiziert. Die Merkmalsextraktion erfolgt dabei durch die namensgebende „Faltung“ mit einem Filterkernel (siehe Bild 11, links).

Nach Festlegung der Netztopologie ist die Bestimmung der zu Beginn unbekannten Werte für die Merkmalsextraktion und Gewichtung der kritische Schritt. Hierzu ist es typisch für Ansätze aus dem maschinellen Lernen, den Algorithmus mit einer sehr großen Anzahl von Bildern, deren Klassen jeweils bekannt sind, zu „trainieren“.

Dazu werden die benötigten Gewichtungen zunächst mit Zufallszahlen initialisiert (siehe auch Bild 11 rechts) und so lange variiert, bis das Klassifikationsergebnis der Annotation entspricht. Der jeweils entstehende Fehler wird dabei an den Beginn des Netzes zurückgeleitet, wodurch der Trainingsalgorithmus Rückschlüsse auf eine zielgerichtete Variation der Parameter ziehen kann.

Auch wenn der Trainingsprozess oft sehr lange dauert (Stunden oder Tage), konvergiert der Prozess oft gegen ein robustes und effizient einsetzbares Ergebnis. Sind die Parameter durch das Training einmal bekannt, erfolgt die Anwendung zur Laufzeit sehr schnell in wenigen Millisekunden pro Bild.

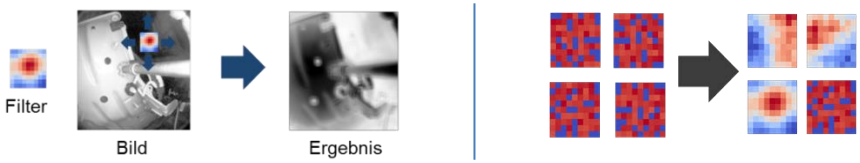


Bild 11: Erläuterung zur Faltung eines Bildes mit einem Filter (links): Durch Pixelweise Anwendung des Filter-Kernels entsteht das transformierte Ergebnisbild, in dem charakteristische Merkmale betont werden. Gut geeignete Kernel werden bei CNNs gelernt (rechts), d.h. die zunächst mit zufälligen Werten gefüllten Kernel

3.2 Systemperformanz

Das Verpose-System wurde bereits in verschiedenen industriellen oder industrienahen Szenarien erfolgreich getestet. Momentan erfolgt die Integration eines Pilotsystems in einen Fertigungsprozess in der Automobilindustrie, was nach aktuellem Stand sehr positiv verläuft. Eine Aussage zur generellen Systemperformanz ist schwierig, da sich dies maßgeblich an den Eigenschaften des vorliegenden Szenarios (Sichtbarkeit von Merkmalen, Verdeckungen, Variationsbandbreite) orientiert. Erfahrungsgemäß kann jedoch in der Regel eine Erkennungsgenauigkeit von deutlich über 99% erreicht werden.

4 Ausblick

Die vorgestellten bildbasiert agierende Ansätze erschließen eine Vielzahl neuer Anwendungsfälle für industrielle oder auch VR/AR-Szenarien. In der Zukunft verbleiben für die beiden Trackingsysteme jedoch noch Aufgaben, um Genauigkeit und Geschwindigkeit weiter zu erhöhen. Hierzu erfolgt zunächst eine Fusion der beiden Ansätze, sodass mit Features *und* Kanten das Objekt detektiert und verfolgt werden kann. Weitere Arbeiten beschäftigen sich dann mit der Adaption des Systems für verschiedene (Pilot-)Szenarien. Das VERPOSE-System ist prinzipiell für den Einsatz in industriellen Szenarien vorbereitet. Es verbleiben noch jeweils Arbeiten, um

das System für neue Szenarien möglichst schnell und flexibel einsatzfähig zu machen. Zusätzlich wäre eine noch weitergehende Robustheit in der Klassifikation der verschiedenen Szenen wünschenswert, was in voraussichtlich zeitnah folgenden Forschungsprojekten umgesetzt werden soll.

Literaturangaben

[1] M. Ribo, A. Pinz und A. L. Fuhrmann, „A new Optical Tracking System for Virtual and Augmented Reality Applications," IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 1932-1936, 2001

[2] D. G. Lowe, „Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," IJCV, Bd. 60, pp. 91-110, Nov. 2004

[3] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars und L. Van Gool, „Speeded-Up Robust Features (SURF)," Comput. Vis. Image Underst., Bd. 110, pp. 346-359, #jun# 2008

[4] E. Rosten und T. Drummond, „Machine learning for high-speed corner detection," ECCV, Bd. 1, pp. 430-443, May 2006

[5] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige und G. R. Bradski, „ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF.," in ICCV, 2011

[6] C. Harris und M. Stephens, „A combined corner and edge detector," in Fourth Alvey Vision Conference, 1988

[7] S. Leutenegger, M. Chli und R. Y. Siegwart, „BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints," ICCV, pp. 2548-2555, Nov 2011

[8] A. Alahi, R. Ortiz und P. Vandergheynst, „FREAK: Fast Retina Keypoint," CVPR, 2012

[9] H. Wuest und D. Stricker, „Tracking of industrial objects by using CAD models," JVRB - Journal of Virtual Reality and Broadcasting, Bd. 4(2007), 2007

[10] S. Hinterstoisser, C. Cagniart, S. Ilic, P. Sturm, N. Navab, P. Fua und V. Lepetit, „Gradient Response Maps for Real-Time Detection of Texture-Less Objects," IEEE PAMI, 2012

[11] T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle und J. Boehm, Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging, De Gruyter, 2014

[12] A. Krizhevsky, I. Sutskever und G. E. Hinton, „Imagenet classification with deep convolutional neural networks," in Advances in Neural Information Processing Systems, 2012

Anwendung von Virtual Reality

Modelling Smart Virtual Environments

Häfner, V.[1]

[1] Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI)

Abstract

Dieser Beitrag schlägt ein neuartiges Modell vor um virtuelle Welten mit Intelligenz zu versetzen, insbesondere für Ingenieuranwendungen. Eine virtuelle Welt mit semantischen Modellen zu verknüpfen kann beliebig komplex werden. Wichtig sind Werkzeuge für eine intuitive und effiziente Modellierung, Schnittstellen zu bestimmten Komponenten des VR-Systems wie dem Szenengraphen, Simulationen oder Kommunikation mit externen Systemen, und die Ausführung von Algorithmen im semantischen Teilsystem in interaktiver Zeit, oft sogar in Echtzeit, um eine konsistente interaktive virtuelle Welt zu gewährleisten. Der vielversprechende Einsatz von Technologien des Semantic-Webs, Ontologien und Reasoning, hat gewisse Herausforderungen. Zum einen ist die Modellierung großer Ontologien für sehr aufwendig und unflexibel, zum anderen ist die Ausführung von Algorithmen auf großen Ontologien zu langsam. Statt einer globalen Ontologie, sollen viele kleine Ontologien einsetzt werden. Das gesammtwissen der Anwendung ist auf viele Entitäten verteilt. Diese sollen mit ihrem indivudiellen Wissen Probleme angehen und beheben.

1 Einführung

Intelligenz in virtuellen Welten, künstliche Intelligenz (KI), wird dem Wort Intelligenz eigentlich selten gerecht. KI in Computerspielen ist meistens sehr beschränkt, fest definierte Abfolgen und Reaktionen vermitteln dem Nutzer das Gefühl, dass seine Eingabe vom System verstanden wird. Die Konzepte für Gameplay und Storytelling sind sehr einfach gestrickt und ein Ergebnis von verschiedenen Randbedingungen wie Entwicklungskosten, Hardware der Anwender, und der immense Konkurrenzdruck im Gaming Bereich. Das Ergebnis sind virtuelle Welten mit immer schönerer Grafik, die Fassade die den Kunden zum Kauf bewegt, und wenig Neuerungen bei Intelligenz und Interaktion. Ingenieursanwendungen kämpfen teilweise mit anderen Problemen wie fehlende oder unzureichende Schnittstellen um die Erzeugung von virtuellen Mock-Ups effizient zu gestalten oder gar ansatzweise zu automatisieren.

Jedoch wächst der Innovationsdruck ständig und damit der Bedarf für neue Ansätze. Ontologien sind Strukturen die Mensch und Maschine zusammen bringen, eine gemeinsame Sprache die sowohl Mensch als auch Maschine verstehen können. Keine opaken neuronalen Netze, keine numerischen Verfahren deren Ergebnis entweder richtig ist oder nicht, ohne Möglichkeiten nachzuvollziehen, als Mensch, was die Maschine sich dabei gedacht hat. Wir sehen somit ein immenses Potential für semantische Technologien. Die Herausforderung ist mehr aus den Daten zu machen, sie richtig zu nutzen, insbesondere für virtuelle Technologien in denen der Mensch zwar im Mittelpunkt steht, aber er umgeben von Maschinen ist. Das Ergebnis dieser Arbeit ist virtuelle Welten mit einer ontologiebasierten semantischen Ebene auszustatten. Das Ziel ist interaktive, intelligente Welten zu erschaffen, und gleichzeitig die dafür nötigen Werkzeuge um dies effizient und nachhaltig zu ermöglichen. Wie in der Realität umgibt jede Person, jedes Ding, eine gewisse Menge an Wissen, das Wissen über sich selbst, und Wissen über die nähere Umgebung. Dieses Wissen ist relativ dynamisch, insbesondere das Umgebungswissen. Wenn solche Entitäten zusammen kommen können sie in einen Dialog treten, dabei vereinen sie ihr Wissen kurzfristig um eine Interaktion, ein Problem oder eine Aufgabe abzuwickeln und trennen ihr Wissen dann wieder. Dabei kann sich ihr Wissen mehr oder weniger verändert haben. Um dies zu erreichen stellen wir ein Konzept für semantische Bausteine vor. Das vorgeschlagene System ermöglicht es effizienter als bisher die semantische Ebene zu modellieren, indem bestehende Bausteine als Grundlage eingesetzt werden und dann mit fehlenden Konzepten und Eigenschaften erweitert werden können. Unser hierfür entwickelter Reasoner hat gewisse Alleinstellungsmerkmale, die in diesem Beitrag vorgestellt werden. Ein Fokus unserer Arbeit ist der Einsatz des Systems für Ingenieuranwendungen, insbesondere die Anknüpfung an den Produktentwicklungszyklus, also CAD, CAE, CAM sowie Prozessmodellierung. Die erste und wichtigste Schnittstelle unseres Systems ist die Übertragung der Daten aus CAD-Systemen. Hierbei setzen wir auf das bewährte STEP Format, das hinreichend Semantik zu den 3D-Daten beinhaltet. Mit Hilfe einer Konvention kann über die Benennung der Geometrien eine automatisierte initiale Populierung der semantischen Ebene erreicht werden.

2 Stand der Technik

Ontologien sind Datenstrukturen die Wissen formalisiert und computerlesbar abbilden können. Sie werden in verschiedenen Bereichen eingesetzt, kommen in der IT Welt primär in Semantic-Web Technologien vor. Es gibt eine Vielzahl von Modellierungsumgebungen um Ontologien zu erstellen. Die bekannteste Software ist Protégé [1] der Stanford Universität. Protégé ist sehr Modular aufgebaut und bietet viele Sichten auf die Wissensbasis. Jedoch sind die meisten Sichten Listen oder Baumstrukturen und somit nicht so intuitiv wie eine Visualisierung als Graph.

Dadurch erschwert sich das Verstehen und Editieren von Ontologien, vor allem im Fall von multipler Vererbung [2]. Zudem fehlt die Verzahnung mit der virtuellen Welt da Protégé ein reines Ontologie Modellierwerkzeug ist. Der Einsatzbereich von Ontologien in dieser Arbeit sind virtuelle Welten. Virtuelle Welten sind Daten die zu großen Bestandteilen als grafische Darstellungen abstrakter oder konkreter Informationen eingesetzt werden. Neben der grafischen Aspekte zeichnen sie sich durch beliebig komplexe Anwendungslogik wie Interaktive Elemente, Simulationen und heterogene Datenstrukturen aus. Der Einsatz von Ontologien in virtuellen Welten wurde schon in mehreren Publikationen besprochen. Der Bedarf für Ontologien für virtuelle Welten ist vorhanden [3]. Es wurden auch schon Konzepte vorgestellt wie Ontologien mit virtuellen Welten verknüpft werden können [4,5]. Jedoch wird immer noch eine große allumfassende Ontologie aufgebaut und eingesetzt. Das führt schnell zu Problemen mit der Performanz. Neben der Ontologie ist der Reasoner das Modul das auf der Ontologie arbeitet und Anfragen beantworten kann. Die Performanz eines Reasoners ist für interaktive Anwendungen entscheidend. Analysen [6,7] der Performanz von Reasonern zeigen das die Berechnungszeiten exponentiell mit der Größe der Ontologie wächst. Das bedeutet dass es kaum Möglich ist mit ausreichender Sicherheit die interaktivität der Anwendung zu gewährleisten, geschweige denn die erfolgreiche Bearbeitung der Anfrage, ohne Abbruch oder Time-Out. Interessante Ansätze sind die Parallelisierung der reasoning Algorithmen [8,9,10]. Sogar eine CUDA Implementierung wurde schon vorgestellt [11].

3 Semantische Bausteine

Das Konzept der semantischen Bausteine versucht die oben beschriebenen Probleme beim Einsatz von Ontologien zu entschärfen, indem statt einer globalen Ontologie für eine gesamte Anwendung, viele kleine abgekapselte Ontologien in Form von wenigen Konzepten, Regeln und Entitäten das Wissen für die Anwendung partitionieren. Dieser Ansatz versucht folgende Eigenschaften zu erfüllen:

Starke Modularisierung: Jeder semantische Baustein ist ein in sich klar abgrenzbares Wissensatom. Dazu gehört das Wissen das den Baustein beschreibt, sowie Umgebungswissen und Referenzen zu anderen Bausteinen, nötige Schnittstellen um Bausteine miteinander zu verbinden.

Wiederverwendbarkeit: Ein semantischer Baustein sollte so generisch und universal definiert sein, dass er ohne Anpassungen eingesetzt werden kann. Bausteine können mit anderen Bausteinen zu komplexeren Bausteinen zusammengesetzt werden.

Flexible Rekombination: Semantische Bausteine bilden Entitäten die kurzfristig zusammen kommen und sich wieder trennen müssen. Wie Menschen die zusam-

menkommen um ein Problem zu lösen, ihr Wissen dabei vereinen, und am Ende entscheiden wer das neu generierte Wissen behält und sich dann wieder trennen.

Ein wichtiger Aspekt der semantischen Bausteine ist die Modellierung der semantischen Ebene. Die Bausteine sollen die Modellierung erheblich vereinfachen. Folgende Eigenschaften sind dafür relevant:

Lesbarkeit und Intuitivität: Ein großer Vorteil von Ontologien ist, dass sie Wissen sehr intuitiv strukturieren. Auch ohne besondere Kenntnisse kann man das Wissen in einer gut modellierten Ontologie schnell und einfach begreifen. Das ist der Vorteil der die Modellierung mit semantischen Bausteinen sehr intuitiv macht. Allein die Verwendung der natürlichen Sprache bringt erheblich dazu bei.

Nachhaltigkeit und Handhabbarkeit: Die Bausteine werden in einer Bibliothek abgelegt. Dadurch kann man schnell darauf zurückgreifen und spart viel Zeit wenn neue Bausteine erzeugt werden, da nur die fehlenden Konzepte hinzugefügt werden müssen.

Nachdem die semantischen Bausteine modelliert wurden, stellt sich die Frage wie ein reasoner damit umzugehen hat. Das Ziel ist das wenn eine Anfrage zentral an die semantische Ebene gestellt wird, in kürzester Zeit eine Antwort berechnet werden kann. Für die in dieser Arbeit vorgestellten semantischen Bausteine und der genutzten Anwendungsfälle wurden folgende Voraussetzungen und Eigenschaften eines Reasoners definiert:

Modularität: Umgang mit der modular strukturierten Wissensbasis und der verteilten Strukturen der Entitäten. Die Anfrage beginnt bei abstrakten übergeordneten Entitäten wie der 'Welt' oder 'Produktion'. Diese ermitteln welche Entitäten für die beantwortung der Anfrage hilfreich sein könnten und bindet sie in den Reasoningprozess mit ein bis alle benötigten Daten aggregiert worden sind. Somit muss der Reasoner auch mit einer variierenden Wissensbasis während der Anfrage umgehen können.

Kommunikation: Der Reasoner hat eine komplexe Schnittstelle zu dem Virtual-Reality-System. Insbesondere bidirektionale Änderungen des Szenengraphens oder low-level Simulationsmodellen sind hierbei eine Herausforderung.

Persistierung: Der Reasoner soll in der Lage sein Annahmen zu treffen, aber auch darüber hinaus persistente Änderungen in der semantischen Ebene zu bewirken und die damit verbundenen Änderungen in der virtuellen Welt.

Performanz: Der Reasoner muss sehr effizient arbeiten, da mindestens interaktive Zeiten angestrebt werden. Das Ziel ist virtuelle Welten mit intelligenter Interaktion auszustatten. Um dieses Ziel zu erreichen ist Effizienz ein Schwerpunkt und ein wichtiger Grund für den Einsatz der semantischen Bausteine die dahingehend optimiert werden können.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Konzepte eines entitätenbasiertes System erinnern stark an agentenbasierte Systeme [12]. Eigenschaften die in beiden Systemen ausgeprägt sind:

Verteiltes Datenmodell: Genau wie ein Agentensystem ist das Datenmodell in relativ eigenständige Einheiten gegliedert, die miteinander bei Bedarf informationen austauschen. Die Agenten bzw. Entitäten sind beide in einer Umgebung mit der sie bedingt interagieren können.

Kommunikation: Über Schnittstellen können Agenten sowie Entitäten miteinander kommunizieren. Dadurch können komplexe Probleme durch Kooperation aufgebaut, zerteilt und gelöst werden.

Eigentlich hat ein ontologiebasiertes Entitätensystem noch mehr Ähnlichkeiten mit holonischen Multiagentensystemen. Holonen haben durch ihre hierarchische Struktur viele Vorteile gegenüber agentenbasierte Systeme, die auch das entitätenbasierte System hat [13]:

Hoher Abstraktionsgrad: Genau wie holonische Systeme sind entitätenbasierte Systeme verschachtelte Systeme, Entitäten bestehen aus Sub-Entitäten. Dadurch ist das Modell auf verschiedenen Abstraktionsebenen verteilt, dies hat Vorteile für die Modellierung, dem Nachvollziehen von Modelländerungen oder von Abläufen im System.

Datenqualität: Fehlendes oder inkonsistentes Wissen ist ein Problem, das die holonischen Systeme mit dem Konzept der Parakonsistenz angehen. Mit dem entitätenbasierten System können Inkonsistenzen aufgedeckt und gesondert behandelt werden.

Entitätenbasierte Systeme führen den Trend der holonischen Multiagentensystemen fort. Sie bauen die Vorteile der holonischen Systeme zu den Multiagentensystemen weiter aus:

Flexibilität: Holonische Systeme sind robuster und flexibler als Agentensysteme, weil sie durch die ihrer Fähigkeit zur selbstorganisation sehr flexibel auf Veränderungen in der Umgebung reagieren können, oder sogar wegfallende Komponenten überbrücken bzw. ersetzen können. Ontologien haben diesen Vorteil auch, jedoch sind sie noch flexibler da sie sehr leicht mit neuen Konzepten erweitert werden können. Die einzigen Randbedingungen sind eine gemeinsame Sprache und einheitliche Definitionen. Dadurch wird das System so flexibel und robust wie eine Gemeinschaft von Menschen die sich selbst organisieren um Probleme zu lösen, und falls nötig sich fehlendes Wissen einhohlen oder kontrolliert Annahmen treffen.

Nachhaltigkeit: Das Ziel einer Ontologie getriebenen Modellierung ist die Nachhaltigkeit von Modellen. In diesem Kontext bedeutet dass, das Entitäten im gegensatz zu Holonen vollkommen generisch spezifiziert sind. Die Konzepte werden in generischen Ontologien verwaltet, somit kann das Wesen einer neuen Entität aus bestehenden Bausteinen zusammengesetzt werden. Das Hinzufügen oder Erweitern von Konzepten muss dafür wohl durchdacht sein.

4 Implementierung

In diesem Abschnitt wird auf die Implementierung der wichtigsten Module der semantischen Ebene eingegangen. Das Softwarewerkzeug für die virtuelle Welt ist PolyVR [14]. Auf die Implementierung der virtuellen Umgebung wird hier nicht weiter eingegangen. Die grundlegende Infrastruktur besteht aus Datenmodellen für die Wissensbasis, also Konzepte, Eigenschaften, Regeln und von Schnittstellen zum Import von OWL/RDF Dateien. Weitere Module sind der Reasoner und die grafische Modellierungsumgebung.

4.1 Systemarchitektur

Die auf Bild 1 vorgestellte Systemarchitektur zeigt die Module, die zusammen eine vollständige Anwendung bilden. Der Fokus liegt auf die Interaktion und den Schnittstellen zwischen Anwendungslogik bzw. Anwenderinteraktion, der semantischen Ebene und der virtuellen Welt. Die semantische Ebene beinhaltet die Wissensbasis und den Reasoner und wird aus der Anwendungslogik heraus aufgebaut und kontinuierlich verändert. Die Anwendungsebene besteht aus der statischen Modellierung, zum Beispiel OWL-Dateien oder in PolyVR modellierte Ontologien und Skripte mit denen die eigentliche Anwendungslogik implementiert wird. Über die Skripte kann die semantische Ebene aufgebaut und populiert werden, dabei werden auch Referenzen mit Objekten der virtuellen Welt, also Knoten im Szenengraphen, hinterlegt. Dabei sind folgende Eigenschaften zu beachten:

- Eine Entität in der semantischen Ebene kann an einen Knoten im Szenengraphen gebunden werden, wobei der gesamte Sub-Graph dann zu der Entität gehört.
- Sollten weitere Entitäten an Knoten im Sub-Graph gebunden sein sind sie auch in der semantischen Ebene Sub-Entitäten.
- Nicht alle Entitäten haben eine physische Repräsentation in der virtuellen Welt, demnach sind diese Entitäten nicht im Szenengraphen verankert. Dies betrifft vor allem abstrakte Konzepte.

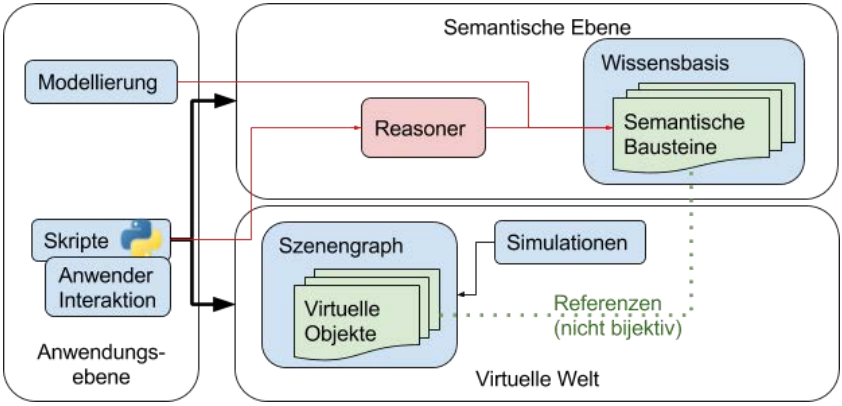


Bild 1: Systemarchitektur

Der Reasoner selbst kann die virtuelle Welt nicht direkt verändern, dies muss über die Anwendungslogik gehen, folgende Schritte werden dabei durchlaufen:

- Nach einer Anfrage teilt der reasoner neben der Antwort auch die von ihm getroffenen Annahmen und Änderungen in der semantischen Ebene mit.
- Je nachdem muss die Anwendungslogik entscheiden, ob sie die Änderungen zuläßt und dementsprechend die virtuelle Welt aktualisiert.
- Diese Schritte können beliebig oft ausgeführt werden. Zum Beispiel einmal pro Frame um den Ablauf in einer komplexen Produktionsanlage zu simulieren oder Fahrfehler in einem Fahrsimulator zu entdecken.

4.2 Modellierung

Dieser Abschnitt geht vertieft auf die Integration der semantischen Ebene in das Virtual-Reality Authoring System PolyVR ein. Bild 2 zeigt das Modellierungswerkzeug für Ontologien. Durch die Darstellung als planaren Graphen kann die Ontologie mit all ihren Elementen und Verknüpfungen angezeigt werden, inklusive Mehrfachvererbung und Zyklen. In dieser Darstellung kann auch jeder Aspekt der Ontologie editiert und erweitert werden.

Skripte sind eine alternative Modellierungsumgebung und ermöglichen darüber hinaus die Verknüpfung mit der Anwendungslogik und die dynamischen Änderungen an der semantischen Ebene.

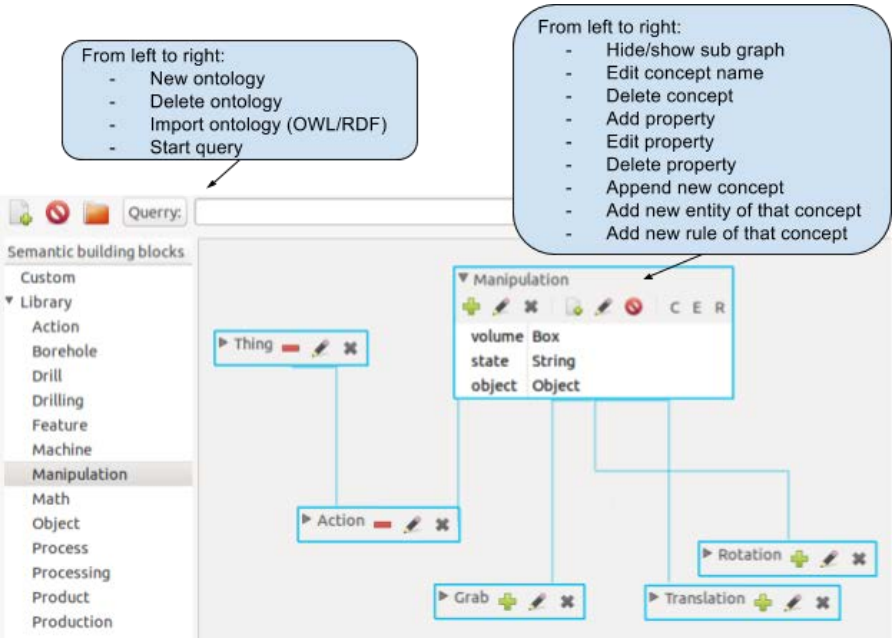


Bild 2: PolyVR Modul - Modellierungsumgebung für Ontologien

Neben einer Taxonomie gehört zu einer Wissensbasis auch ein Regelwerk. Die Regeln sind in dieser Arbeit mit folgender Syntax implementiert. Zuerst kommt der Name der Regel, und mit einem ':' abgegrentzt folgen die Bedingungen, selbst mit einem ';' getrennt. Hier ein minimalistisches Beispiel um die Syntax zu verdeutlichen. Nehmen wir an wir haben ein Konzept A mit den Eigenschaften state und progress. Eine typische Regel wäre dann zum Beispiel:

isReady(x) : A(x) ; is(x.state,1) ; is_greater(x.progress,0.9)

➔ *isReady* for *x of type A* and the *state of x is 1* and *progress greater 0.9*

4.3 Reasoning

Der Reasoner ist die aktive und somit die komplexeste Komponente der semantischen Ebene. Die Herausforderung hier ist die Implementierung eines Reasoners der die Anforderungen für interaktive Anwendungen, die oben beschriebenen sind, erfüllt.

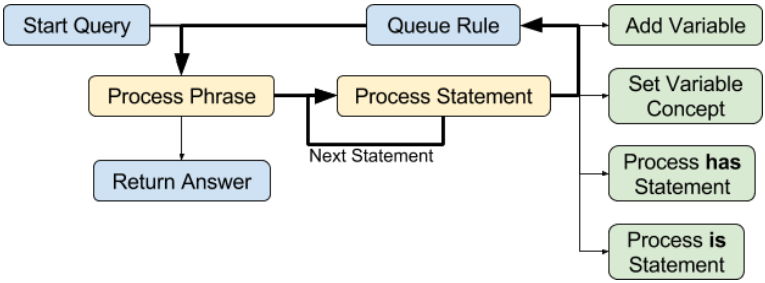


Bild 3: Reasoning Workflow

Die zentrale Fähigkeit ist Ontologien zu verschmelzen und wieder zu trennen, der Prozess ist Bild 3 zu entnehmen. Zuerst wird die Anfrage und eine Entität an den Reasoner übergeben. Die Anfrage wird segmentiert und Variablen generiert, dann können die einzelnen Aussagen abgearbeitet werden. Dies wird im folgenden Beispiel erläutert. Nehmen wir an wir haben zwei Entitäten A1, A2 und A3 vom oben beschriebenen Typ A.

A1	A2	A3
state = 1	state = 0	state = 1
progress = 0	progress = 1	progress = 0.99

Eine typische Anfrage wäre dann zum Beispiel:

q(x):A(x);isReady(x)

➔ *Query x*, where *x of type A* and *x isReady*

Diese Anfrage wird in folgende Segmente zerteilt. *q(x)* ist die eigentliche Anfrage, x ist die Variablenbezeichnung. *A(x)* ist der Variablentyp, also in diesem Fall ist x vom Typ A. isReady(x) ist die Bedingung. Die Bedingung 'isReady' gehört nicht zu den Grundverben *sein* oder *haben* die der Reasoner kennt. Somit wird er nach einer Regel suchen die passt, in diesem Fall nutzt er die in Abschnitt Modellierung definierte Regel. Die Regel kann nun in den Prozess eingebunden werden und wird auch erstmal zerlegt:

isReady(x): der Name der Regel die eingesetzt wird

is(x.state,1): erste bedingung, state von x muss 1 sein

is_greater(x.progress,0.9): zweite Bedingung, progress von x muss größer 0.9 sein

Der eigentliche Prozess läuft nun folgendermaßen ab. A(x) wird evaluiert, da x unbekannt ist wird eine neue Variable angelegt mit Typ A, also [A1, A2, A3]. Alle bekannten Entitäten vom Typ A werden zu x hinzugefügt. isReady wird ausgewertet, da x nun bekannt ist geht es weiter mit der ersten Bedingung is(x.state,1) und dann is_greater(x.progress,0.9). Für jede Bedingung werden Entitäten die sie nicht erfüllen von x entfernt, es bleibt A3.

5 Anwendung

In diesem Abschnitt stellen wir als Anwendung des Systems die Erstellung eines funktionalen Mock-Ups vor. Funktionale Mock-Ups (FMU) kommen in der späten Produktentwicklungsphase vor und sind bisher sehr umständlich zu erstellen, insbesondere wenn der FMU nicht nur zur Validierung der Konstruktion und Funktionalität des Produktes genutzt werden soll, sondern im Fall von größeren Fahrzeugen, Maschinen und Anlagen, zu trainingszwecken. Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten wie solch ein FMU eingesetzt werden kann, Validierung, Training, Monitoring, Wartung bis hin zur virtuellen Inbetriebnahme. Der Einsatz von Ontologien ist sehr vielversprechend den Anforderungen für all diese Einsatzgebiete zu erfüllen.

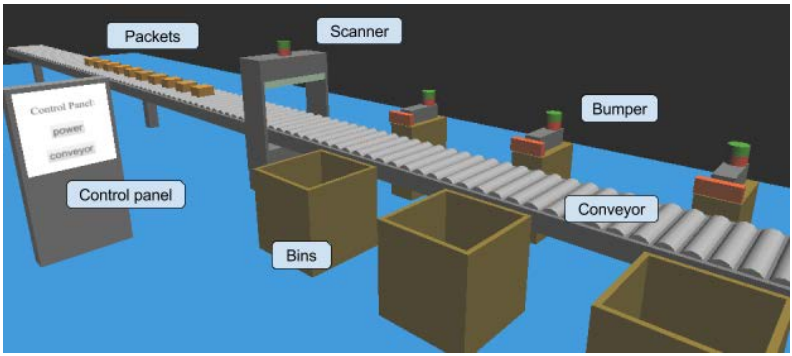


Bild 4: Anwendungsbeispiel, FMU einer Sortieranlage

Das Anwendungsbeispiel ist der funktionale Mock-Up einer kleinen Sortieranlage (Abb. 4). Ein Fließband befördert Pakete mit je einer Kennzeichnung um sie eindeutig zu identifizieren. Am Ende des Fließbandes gibt es drei Aktoren die Pakete vom Fließband in große Behälter schieben können. Je nach Kennzeichnung werden die 10 Pakete in den richtigen Behälter geschoben. Dafür muss das Fließband laufen, Pakete müssen durch den scanner, und der richtige Aktor muss das richtige Paket in den richtigen Container buchsieren. Der Aufbau der semantischen Ebene, läuft wie folgt ab:

Modellierung: Die generischen Ontologien werden per Skript geladen und ergänzt. Die in dieser Szene vorkommenden Konzepte sind ControlPannel, OpticalScanner, ConveyorBelt, Bumper und Bin. ConveyorBelt und Bumper sind Aktoren und elektrische Geräte, können somit ein und ausgeschaltet werden und Aktionen ausführen.

Populierung: Die Entitäten werden automatisiert populiert. Alle Knoten im Scenengraphen werden durchforstet nach Namen die aufgebaut sind wie Konzept:Name. Zusätzliche Entitäten sind notwendig wie die Knöpfe vom Steuerpult.

Verknüpfung: Zuletzt werden Verknüpfungen hinzugefügt zwischen den Entitäten wie zum Beispiel:

- Verbindung vom Knopf zum Gerät, intrinsische Verkabelung
- Zugehörigkeit der Pakete auf dem Band
- Verbindungen der Komponenten der Kinematik der Aktoren

Wenn die Anwendung ausgeführt wird sind die alle Aktoren ausgeschaltet. Mit dem Steuerpult kann man die Anlage starten und das Förderband bewegt die Pakete durch den Scanner. Der Scanner gibt je nach Kennzeichnung des Pakets einem Arm die Anweisung nach einer gewissen Zeit auszufahren. Das ist genau die Zeit die das Paket braucht um bis zum Arm zu kommen und dann in den Behälter buchsiert zu werden.

6 Ausblick

In dieser Arbeit haben wir die Grundlagen geschaffen um Ontologien in interaktiven Virtual-Reality Anwendungen einzusetzen. Dies ermöglicht intelligente virtuelle Welten, die mit relativ wenig Aufwand erstellt werden können, und viel interaktiver sind als durch rein gescriptete Szenarien. Neben Optimierungen wie Performanz (GPU implementierung des Reasoners), Flexibilität und Modellierungswerkzeuge sind die nächsten Schritte die Erprobung der bestehenden Lösung für verschiedene Anwendungsfälle und die damit einhergehende kontinuierliche Erweiterung der generischen Ontologien. Insbesondere werden wir die Lösung in den Bereichen Produktentwicklung, Anlagenbau, Produktion und Training, Stichwort Tutoring-Systeme, anwenden. Vor allem Anwendungen die diese Bereiche kombinieren sind interessant wie die virtuelle Fabrik. In der virtuellen Fabrik ist das Ziel die Planung der Fertigungsprozesse. Es gibt auch hier viele Einsatzgebiete, Anlagenbau, Training, Monitoring, Wartung, Prozessplanung und Intralogistik, sowie Verfahrenstechnik und Robotik. Ein weiteres großes Thema ist die Anbindung der semantischen Ebene an Simulationen, hier wollen wir die automatisierte Parametrisierung und Modellaufbau der Simulation aus der semantischen Ebene heraus erforschen.

7 Literaturangaben

[1] Gennari, J. H., and al. (2003). The evolution of Protégé: an environment for knowledge-based systems development. International Journal of Human-computer studies, 58(1), 89-123

[2] *Fu, B., Noy, N. F., & Storey, M. A. (2013). Indented tree or graph? A usability study of ontology visualization techniques in the context of class mapping evaluation. In International Semantic Web Conference (pp. 117-134). Springer*

[3] *Eno, J. D., & Thompson, C. (2011). Virtual and real-world ontology services. IEEE Internet Computing, 15(5), 46-52*

[4] *Huhns, M. N., & Singh, M. P. (1997). Ontologies for agents. IEEE Internet computing, 1(6), 81-83*

[5] *Kenny, P., and al. (2007, November). Building interactive virtual humans for training environments. In Proceedings of I/ITSEC (Vol. 174)*

[6] *Pan, Z. (2005, November). Benchmarking DL Reasoners Using Realistic Ontologies. In OWLED (Vol. 188)*

[7] *Bock, J., Haase, P., Ji, Q., & Volz, R. (2008, June). Benchmarking OWL reasoners. In ARea2008-Workshop on Advancing Reasoning on the Web: Scalability and Commonsense. Tenerife*

[8] *Bock, J. (2008, October). Parallel computation techniques for ontology reasoning. In International Semantic Web Conference (pp. 901-906). Springer Berlin Heidelberg*

[9] *Wu, K., & Haarslev, V. (2012, June). A Parallel Reasoner for the Description Logic ∃/ Lc. In 25th International Workshop on Description Logics (p. 378)*

[10] *Soma, R., & Prasanna, V. K. (2008, September). Parallel inferencing for OWL knowledge bases. In 2008 37th International Conference on Parallel Processing (pp. 75-82). IEEE*

[11] *Liu, C., Urbani, J., & Qi, G. (2014, April). Efficient RDF stream reasoning with graphics processingunits (GPUs). In Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web (pp. 343-344). ACM*

[12] *Jennings, N. (1999a). Agent-based computing: Promise and perils. Paper presented at the 16th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI-99), Stockholm, Sweden*

[13] *Glückselig. S., Holonische Multiagentensimulation. Master's thesis, Universität Würzburg, 2005*

[14] *Haefner, V. (2014). PolyVR - A Virtual Reality Authoring System. In proceedings of "EuroVR 2014 - Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality"*

Architektur und Umsetzung eines semantischen VR Asset Repositories

Schmidt, A.[1]; Pflüger, J.[1]; Schubotz, R.[2]; Harth, A.[3]

[1] Audi AG, Ingolstadt
[2] DFKI, Saarbrücken
[3] KIT, Karlsruhe

Abstract

Wir beschreiben die Architektur und die prototypische Umsetzung eines Repositories für VR Assets.

Assets bilden die Grundbausteine modular aufgebauter VR-Szenen. Mittels eines Repositories lassen sich Assets nachhaltig verwalten und strukturiert bereitstellen.

Der Ansatz des semantischen Asset Repository bietet darüber hinaus Versionierung, Variantenmanagement, Modellierung von Kontexten, Verlinkung zu weiteren datenhaltenden Systemen und problemlose Erweiterbarkeit auf Basis einer cloudfähigen Containerarchitektur.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Durch die Marktpräsenz preisgünstiger VR-Hardware und flexibler Autorenumgebungen wandeln sich die Einsatzszenarien von VR im industriellen Kontext grundlegend. Neben spezialisierten Anlagen, in denen oft Jahre an Forschung und Entwicklung stecken, gewinnen leichtgewichtige Arbeitsplatzlösungen auf Basis von Standardtechnologie zunehmend an Bedeutung.

In Ergänzung zu spezialisierten Visualisierungslösungen für spezifische Anwendungsszenarien, beispielsweise CAD-Visualisierung im Engineering oder fotorealistisches Rendering für Design und Vertrieb, etablieren sich verstärkt Game-Engines als flexible Autorensysteme für interaktive VR-Anwendungen.

Auf dieser Basis entstehen an vielen Stellen innovative Prototypen und „Proof of Concepts“ [18]. Um deren Übertragung in den produktiven Einsatz und einen dauerhaft wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, sind weitgehend automatisierbare Datenversorgungsprozesse und entsprechende Backendsysteme notwendig, die über eine reine Datenbereitstellung hinausgehen.

Während in den traditionellen Arbeitsfeldern strukturierte Datenversorgungsprozesse und -systeme die Regel sind, wie etwa PLM-Systeme im Engineering, fehlt dieser Ansatz in vielen der noch jungen Anwendungsfällen von Game-Engines. In der Regel werden hier noch manuell aufbereitete Daten im lokalen Filesystem verwaltet und in Form monolithischer Anwendungen verteilt. An verschiedenen Stellen redundant geleistete Arbeiten, mangelnde Quernutzung von Arbeitsergebnissen, statische Anwendungen und bei den jeweiligen Entwicklern gekapseltes Wissen sind die Folge. Das semantische AR Asset Repository adressiert diese Problemstellungen und bietet einen flexiblen Lösungsansatz auf mehreren Ebenen.

1.1 Wiederverwendbarkeit

Als Grundfunktion lassen sich Assets über das Netz im Repository ablegen und über eine Web-Oberfläche browsen und wieder herunterladen. Einmal erzeugte Assets werden so dem gesamten Entwicklerkreis im Unternehmen zugänglich gemacht. Weiterhin ermöglicht ein Versions- und Variantenmanagement die Weiterentwicklung und Anpassung einmal erstellter Assets. Zusätzlich lassen sich anhand semantischer Verknüpfungen Assets zu größeren Kontexten zusammenfassen.

1.2 Unterstützung der Entwickler

Die Verwaltung der Assets mittels eines Git-Repositories ermöglicht dem Entwickler die Handhabung von Assets mit bewährten Methoden moderner Softwareentwicklung: Ein- und Aus-checken von Assets, automatische Versionierung, Verwaltung von Entwicklungszweigen und Varianten. Die Möglichkeit, semantische Verknüpfungen bereits auf Code- oder Metadatenebene innerhalb der Assets anzulegen, erlaubt die automatisierte Modellierung und Pflege übergeordneter Kontexte. Diese Kontexte strukturieren das gesamte Asset Repository. Sie ermöglichen sowohl das Browsen des Repositories anhand semantischer Verknüpfungen als auch die Nutzung dieser Semantik innerhalb der Game-Engine, beispielsweise zu automatisierten Erstellung von Interaktionen zwischen Assets.

1.3 Dynamische VR-Szenen und Anbindung von Drittsystemen

In vielen Fällen können VR-Szenen nicht vollumfänglich in Form eines einzigen Executables abgespeichert und verteilt werden. Ein Beispiel ist die Visualisierung eine Fahrsimulationsumgebung, bei der eine ganze Region durchfahrbar sein soll. Hier müssen Daten dynamisch nachgeladen werden können. Die bewährte Methode besteht darin, diese Daten an persistenten http-URIs vorzuhalten, so dass sie seitens der Applikation bei Bedarf nachgeladen werden können. Diese Methode wird durch das semantische Asset Repository erweitert: Applikationen können

durch Anfragen an das Semantik-Layer des Repositories auch neu hinzugekommene Assets identifizieren und einbinden. Zusätzliche datenhaltende Drittsysteme können ebenfalls über semantische Verknüpfungen angebunden werden. Diese Verknüpfungen sind hierbei nicht durch das Datenmodell festgelegt, sondern lassen sich dynamisch erzeugen. So kann die Visualisierung technischer Bauteile angereichert werden durch die Ergebnisse von Festigkeitsberechnungen aus einer separaten Datenbank. Liefert die Abfrage nach weiteren Verknüpfungen zu diesem Bauteil nun eine neue, zusätzliche Datenquelle, beispielsweise Bauteiltoleranzen aus einer Messdatenbank, können diese direkt angezeigt werden ohne das Visualisierungsprogramm erweitern und neu kompilieren zu müssen.

1.4 Speicherung von Kontextwissen

Die Modellierung und Pflege semantischer Kontexte sichert über die Erleichterung des Browsens von Assets und die Nutzung der Verknüpfungen innerhalb von Programmen hinaus das Wissen über die Kontexte der durch die Assets repräsentierten Entitäten. Diese Wissenskontexte lassen sich auch über die Grenzen der VR-Welt hinaus nutzen. Vor allem die Abbildungen der Verknüpfungen mit Drittsystemen beschreiben übergeordnete Informationszusammenhänge, die auch in anderen Systemen genutzt werden können. Bei dem vorher genannten Beispiel der Bauteilvisualisierung können so durch die Vernetzung mit den Daten der Festigkeitssimulation und den Toleranzmaßen automatisierte Reports generiert werden. So wird die manuelle Zusammenstellung von Daten zu Präsentationsfolien überflüssig.

2 Systematik

Im Folgenden gehen wir zuerst in 2.1 auf die atomaren Bausteine einer Applikation ein: sog. Assets, die einzelne Teile der Applikation kapseln und somit wiederverwendbar machen. Des Weiteren präsentieren wir in 2.2 ein Szenario im Bereich Logistiktraining (siehe Bild 1). In 2.3 beschreiben wir, wie einzelne Assets zu einer VR-Szene zusammengestellt werden können. Optional (in 2.4) skizzieren wir eine mögliche Erweiterung, um Arbeitsabläufe generisch zu beschreiben. Wir möchten die Arbeitsabläufe nicht in Code programmieren, da es pro Werk leicht unterschiedliche Varianten eines Trainings gibt. Deshalb erleichtert eine abstraktere Repräsentation der Applikationslogik die Anpassung an unterschiedliche Varianten der Arbeitsabläufe.

Bild 1: Screenshot Logistiktraining

2.1 Repräsentation von Assets

Assets beinhalten:

- die Geometrie und Materialien/Texturen
- den Code, der den internen Zustand des Assets hält sowie die Kommunikation mit der Außenwelt (Methodenaufrufe bzw. ausgehende Events) abwickelt
- semantische Beschreibung der Geometrien und Materialien/Texturen, sowie
- die semantische Beschreibung der Schnittstelle (Methoden, die aufgerufen werden können und Events, die vom Asset emittiert werden)

In Unity gibt es das Konzept eines Prefabs, welches unserem Asset nahekommt. Prefabs erlauben es, einzelne Komponenten einer VR-Szene zu kapseln und in unterschiedlichen VR-Szenen wiederzuverwenden.

Mittels Code-Annotation können wir aus dem Quellcode die semantischen Beschreibungen in RDF generieren. D.h. wir können automatisch ein Objekt-Modell ableiten, das Grundlage für die Kombination von Assets ist. Diese Metadaten erlauben es, Assets im Repository so abzulegen, dass Suchanfragen (z.B. nach dem Typ eines Assets oder der verwendeten Events eines Assets) möglich werden.

Längerfristig streben wir eine Standardisierung bzw. Homogenisierung der Objektmodelle der verschiedenen Assets an, um die Wiederverwendung der Assets in unterschiedlichen VR-Szenen zu erleichtern.

2.2 Modellierung der Szene am Beispiel Logistiktraining

Ausgangspunkt ist eine bestehende Unity-Applikation im Bereich Logistiktraining. In der bestehenden monolithischen Applikation sind die einzelnen Komponenten prinzipiell identifizierbar. Um Teile der Applikation über das Repository weiterverwenden zu können, wird separater Zugriff auf die einzelnen Assets benötigt. Deshalb werden in einem ersten Schritt die einzelnen Assets (Label, Handscanner…) aus einer bestehenden VR-Szene (siehe Bild 1) herausgelöst, um diese in das Asset-Repository laden und verwalten zu können.

Zur semantischen Beschreibung der Assets werden die Begriffe eines Vokabulars genutzt, welches teilweise in Bild 2 abgebildet ist. Mit diesem Vokabular können Assets, wie Bauteile, Behälter, Handscanner oder verschiedene Labeltypen, beschrieben werden.

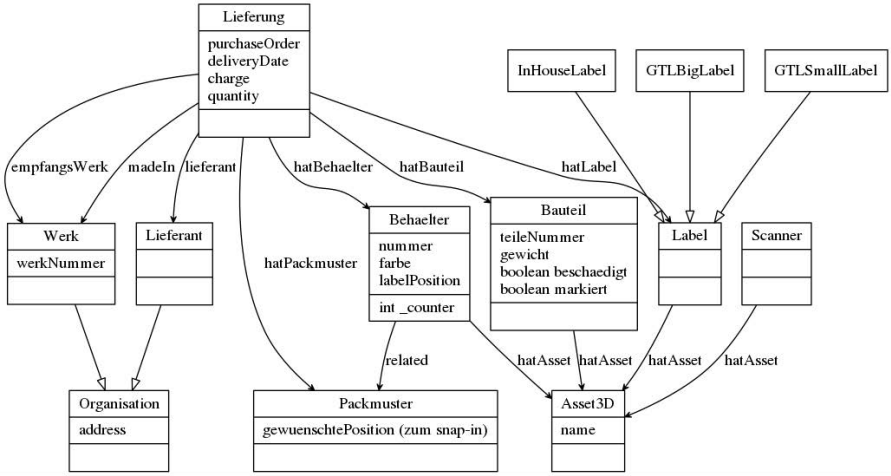


Bild 2: RDF Modellierung Logistiktraining

2.3 Zusammenspiel Asset-Logik und VR-Szene

Um Assets in einer VR-Szene zu verbinden, muss sowohl der Zustand der einzelnen Komponente an sich (interner Zustand) als auch der Zustand der VR-Szene (globaler Zustand) repräsentiert werden. Des Weiteren müssen einzelne Assets Nachrichten untereinander austauschen (z.B. der Handscanner und das Label mit

Daten zur Lieferung). Dazu wird ein Event-Broker verwendet, der so z.B. in Unity verfügbar ist.

2.4 Szenensteuerung und Prozessmodellierung

Um einzelne Assets flexibel zu einer Unity-Applikation kombinieren zu können, müssen 1) die einzelnen Assets Nachrichten/Events austauschen sowie 2) der globale Zustand der Applikation dargestellt und überwacht werden. Geplant ist, den globalen Zustand der Applikation basierend auf einem Zustandsautomaten darzustellen und zu überwachen. Obwohl langfristig eine Applikationserstellung ohne das dedizierte Programmieren in C# angestrebt ist, werden in ersten Ausbaustufen vermutlich noch manuelle Programmierarbeiten zur Applikationserstellung nötig sein.

3 Umsetzung

3.1 Erzeugung von Linked Data Beschreibungen

Das World Wide Web Consortium (W3C) definiert einen Standard zur semantischen Beschreibung von Data-Provenance-Informationen auf Basis von Linked-Data-Ansätzen, PROV [1]. Dieser Standard definiert eine Ontologie zur semantischen Beschreibung von unter anderem Urheber, Datum, und Inhalt einer auf Daten durchgeführten Änderung. Auf Basis von PROV entwickelten De Nies et al. das System Git2Prov, das es erlaubt, diese Informationen aus der Commit-History eines Git-Repositories zu gewinnen [2]. Eine auf Node.js basierende Implementierung von Git2Prov ist sowohl als Node.js-Package, als auch quelloffen auf GitHub verfügbar [3].

Aktuelle Lösungen zur Verwaltung von Git Repositories erlauben die Erstellung so genannter Webhooks, HTTP Callbacks, deren URL über einen POST Request aufgerufen werden. Wir stellen einen einfachen auf Python basierenden Webservice zur Verfügung, auf den im Geometrie-Repository ein Webhook registriert wird. Wird dieser Webhook ausgelöst, beispielsweise durch Hinzufügen neuer Geometrie, sowie Modifizierung oder Entfernen bestehender Geometrie, stößt der Dienst eine erneute Erstellung der semantischen Provenance-Daten auf Basis der neuen Informationen mittels Git2Prov an.

Die aktualisierten Provenance-Informationen werden dann über eine Graph Store HTTP Protocol [4] Schnittstelle in einem Triplestore (Apache Fuseki [5], Stardog [6]) hinterlegt. Auf diesem können die im Repository hinterlegten Geometriedaten anhand ihrer hinzugefügten Informationen über Autor, Änderungsdatum, und Inhalt,

mittels standardisierter Anfragesprachen (z.B. SPARQL [7]) abgefragt und gefiltert werden.

Dadurch steht einem Benutzer stets eine aktuelle und mit den im Repository hinterlegten Daten konsistente Linked-Data-Beschreibung der verwalteten Geometriedaten zur Verfügung.

Zusätzlich können weitere Informationen aus den Dateien extrahiert werden. Mit Hilfe von file [8] Unix-Tools kann Dateiformat identifiziert werden. Im Falle eines Bildformats wie z.B. PNG oder JPEG können weitere Informationen wie Bildgröße extrahiert werden. Darüber hinaus können Quellcode-Dateien wie z.B. Unity C# Skripte mit Annotationen versehen werden. Diese lassen sich mit passender Compiler-Technologie, wie z.B. dem Roslyn-Compiler für C# [9], aus Quellcode extrahieren und in den Triplestore speichern.

3.2 Architektur: Microservices, Docker und Kubernetes

Seit dem Aufstieg der Docker-Software [10] wird Container-Technologie [11] zur immer beliebteren Methode für die Ausführung von Diensten in der Cloud. Das Prinzip der Container-Technologie ähnelt dem der virtuellen Maschinen (VirtualBox [12], VMware Workstation [13]). Allerdings werden bei Containern weder die Hardware noch das Betriebssystem virtualisiert. Damit sind die Container nicht so stark von dem Hostbetriebssystem isoliert, verbrauchen jedoch viel weniger Arbeitsspeicher als virtuelle Maschinen. So können auf einem physikalischen Rechner mehr Containerinstanzen als virtuelle Maschinen ausgeführt werden.

Zusätzliche Vorteile bietet das Docker-Container Format als aktueller offener Quasi-Standard für das Bereitstellen der Virtual Appliances als Container-Images sowie Docker Hub als öffentlichen Dienst zur Speicherung und Verwaltung von Container-Images. Dadurch vereinfacht die Bereitstellung von Softwarekomponenten als Docker-Container die Installation und Wartung von Software.

Der verwendete Software-Stack enthält multiple Dienste, die nach dem Microservice-Paradigma [14] entwickelt werden. Statt einer komplexen monolithischen Anwendung sind es viele einfache Komponenten, die miteinander verbunden sind: Git-Repository Server mit Webhooks, Git2Prov Converter, Triplestore etc. Jede dieser Komponenten bietet einen Dienst, der im Vergleich mit einer komplexen Anwendung einfach zu definieren, zu entwickeln und zu testen ist. Jeder der separaten Dienste ist verfügbar als ein Docker-Container, entweder im Docker-Hub [15] oder unserer internen Docker-Registry. Da sie als Container eigenständige Anwendungen sind, müssen sie verbunden, verwaltet und überwacht werden. Diese Aufgabe übernimmt Kubernetes [16] als System zur Container-Orchestrierung. Es erlaubt sowohl die Verteilung der Container auf die virtuellen Maschinen bzw. auf die physikalischen Rechner, als auch ihre Verbindung und Verwaltung. Allein die Verbin-

dungen zwischen den einzelnen Komponenten müssen vom User konfiguriert werden. Kubernetes stellt sicher, dass alle Komponenten funktionieren und bei Ausfall von einzelnen Rechner-Knoten auf die anderen Knoten verteilt werden.

4 Fazit

Das semantische Asset Repository in der hier beschriebenen Ausprägung stellt einen ersten nutzbaren Arbeitsstand dar. Neben den im Abschnitt 1 beschriebenen konkreten Funktionen soll auf Basis des aktuellen Standes die Bearbeitung der im Abschnitt 2 vorgestellten Themen ermöglicht werden. Parallel zur Entwicklung des Repositories entsteht eine Musterapplikation, die die funktionalen Zusammenhänge zwischen Asset, Semantik und Unity-Szene exemplarisch darstellt. Sie soll als Blaupause für neue Anwendung dienen soll. Erste Anwendungen, welche die Funktionalitäten des Repositories nutzen, sind aktuell in Vorbereitung.

5 Ausblick

Wie einleitend erwähnt nimmt die Verfügbarkeit von AR&VR Hardware ebenso zu wie die Integration der Technologien in den (Arbeits-) Alltag. Handheld Devices wie zum Beispiel Smartphones ermöglichen den einfachen Eintritt in die AR Welt, wie es Anwendungen wie Pokémon Go in letzter Zeit eindrucksvoll bewiesen.

Zahlreiche Applikation werden sich mit der Vereinfachung des technologischen Zugangs und der weiteren Verbreitung durch Player wie Apple (ARKit) und Google (AR Core) erschließen. Dennoch bleibt den meisten Anwendungen ihre Limitierung auf das spezielle Nutzungsumfeld und deren dafür dediziert produzierten Informationen und Assets: Informationen sind meist nur innerhalb ihres eigenen Systems nutzbar.

Die Herausforderung liegt in der systemübergreifenden Bereitstellung von Informationen in übergeordneten Kontexten. Das semantische Asset Repository ist ein möglicher Baustein, um die bisherigen Grenzen zwischen Informationsart und Informationsbereichen aufzulösen (siehe 1.4 Speicherung von Kontextwissen).

Dieser Ansatz kann somit als Basis für ein breites Anwendungsspektrum dienen. Im Zusammenspiel mit weiteren Technologien wird dadurch der Mehrwert von AR&VR deutlich gesteigert. Die breite Tauglichkeit des semantischen Modells gilt es in praxisnahen Anwendungen weiter zu prüfen. Das Zusammenspiel zwischen Kontexterstellung und Informationslieferung sollte dabei ebenso erforscht werden wie die generelle Übertragbarkeit auf beliebige Informationen und Assets.

Literaturangaben

[1] *W3C, „PROV-Overview," [Online]. Available: https://www.w3.org/TR/prov-overview/*

[2] *T. De Nies, S. Magliacane, R. Verborgh, S. Coppens, P. Groth, E. Mannens und R. Van De Walle, „Git2PROV: exposing version control system content as W3C PROV," in Proceedings of the 12th International Semantic Web Conference (Posters & Demonstrations Track), Aachen, Germany, 2013*

[3] *T. De Nies, S. Magliacane, R. Verborgh, S. Coppens, P. Groth, E. Mannens und R. Van de Walle, „Git2PROV: Unleash the potential of Git in the new W3C standard for provenance.," [Online]. Available: https://github.com/IDLabResearch/Git2PROV.*

[4] *W3C, „SPARQL 1.1 Graph Store HTTP Protocol," [Online]. Available: https://www.w3.org/TR/sparql11-http-rdf-update/*

[5] *The Apache Software Foundation, „Apache Jena - Apache Jena Fuseki," [Online]. Available: https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/.*

[6] *Stardog Union, „Stardog: the Enterprise Knowledge Graph," [Online]. Available: http://www.stardog.com/*

[7] *W3C, „SPARQL 1.1 Overview," [Online]. Available: https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/.*

[8] *„file(1): determine file type - Linux man page," [Online]. Available: https://linux.die.net/man/1/file. [Zugriff am 17 09 2017]*

[9] *.NET Foundation, „.NET Compiler Platform ("Roslyn")," [Online]. Available: https://dotnetfoundation.org/net-compiler-platform-roslyn. [Zugriff am 17 09 2017]*

[10] *„Docker - Build, Ship, and Run Any App, Anywhere," [Online]. Available: https://www.docker.com/*

[11] *„Docker: Was sind eigentlich Container?," [Online]. Available: http://t3n.de/news/was-sind-container-756373/*

[12] *Oracle, „Oracle VM VirtualBox," [Online]. Available: https://www.virtualbox.org/*

[13] *VMware, „VMware Workstation," [Online]. Available: http://www.vmware.com/products/workstation.html*

[14] *„An introduction to microservices | Opensource.com," [Online]. Available: https://opensource.com/resources/what-are-microservices*

[15] *Docker Inc., „Docker Hub," [Online]. Available: https://hub.docker.com/*

[16] *„Kubernetes - Production-Grade Container Orchestration," [Online]. Available: https://kubernetes.io/*

[17] Docker Inc, „Docker Swarm," [Online]. Available: https://www.docker.com/products/docker-swarm

[18] Werner Schreiber; Konrad Zürl; Peter Zimmermann. „Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken". Springer, 2017

Chancen und Risiken von VR in der Produktentwicklung

Lorenz., M.[1]; Bernhagen, M.[1]

[1] Technische Universität Chemnitz

Abstract

Für den Erfolg von Produkten sind die Zufriedenheit und Begeisterung des Kunden bei der Benutzung des Produktes sowie seiner dabei gemachten Erfahrungen entscheidend. Diese User Experience- und Usability-Faktoren werden daher während der Produktentwicklung als wichtiger Punkt einbezogen und mittels Nutzerstudien evaluiert. Für diese Produktevaluationen werden oft reale Prototypen des Produktes verwendet. Durch diesen späten Evaluationszeitpunkt im Produktentwicklungsprozess können große Änderungen nur sehr aufwendig durchgeführt werden. Zur Lösung dieses Problem und um den Produktentwicklungsprozess schneller und kostengünstiger zu gestalten, können virtuelle Umgebungen dienen. Bereits in frühen Entwicklungsphasen kann durch den Einsatz von Virtual Reality (VR) ein virtueller Produktprototyp in Nutzerstudien hinsichtlich Usability und User Experience evaluiert werden. So groß die Chancen von VR an dieser Stelle erscheinen mögen, besteht das Risiko, dass die Güte etablierter Produktbewertungsmethoden, die für reale Prototypen entwickelt wurden, in VR-basierten Produktevaluationen beeinträchtigt wird.

Im Vortrag wird zunächst eine VR-Usability-Studie zur Bewertung eines Ambient Assitent Living Systems vorgestellt. Diese diente der Untersuchung eines Sensors in Form einer Deckenlampe zur Detektion von Notfällen, Mobilitätsassistenz und Aktivierung von Personen. Mittels Fragebögen bezüglich des Vertrauens1, Akzeptanz2 und Datenschutz der Probanden konnten frühzeitig Erkenntnisse gewonnen werden, welche in der iterativen Weiterentwicklung berücksichtigt werden. Zudem zeigte sich, dass sich die Personen sehr präsent fühlten und die Umsetzung mittels VR-Technologie als sehr hilfreich wahrnahmen. Anschließend werden zwei Grundlagenstudien vorgestellt welche die Beeinflussung der Usability- und User Experience-Bewertung durch VR untersuchen. Die erste Studie vergleicht dabei eine VR-Umgebung mit einer Laborumgebung hinsichtlich der Auswirkung von Presence, dem Gefühl in der virtuellen Welt zu sein, auf die Usability-Bewertung. Es wurden der International Test Commission – Sense of Presence Inventory (ITC-SOPI) Fragebogen zur Messung von Presence und der System Usability Scale (SUS) Frage-

bogen zur Messung der Usability verwendet. Als Evaluationsszenarien wurden Internet of Things (IoT) Anwendungen im Heim- und Office-Bereich verwendet. Es stellten sich keine Unterschiede in der Usability-Bewertung heraus, allerdings zeigten sich Unterschiede in den Korrelationen von Presence mit Usability zwischen VR-Umgebung und Laborumgebung (vgl. Busch et al.3) Die zweite Grundlagenstudie untersuchte anhand eines Geocaching-Spiels die Auswirkungen von Presence auf Usability und User Experience in einer VR-Umgebung und der realen Umgebung. Zur Messung von Presence wurde der ITC-SOPI, für Usability der SUS und für User Experience der User Experience Questionaire (UEQ)4 Fragebogen verwendet. Die Ergebnisse zeigten signifikante Unterschiede in der Usability- und User Experience-Bewertung zwischen VR-Umgebung und realer Umgebung, sowie eine starke Korrelation von Presence mit Usability und User Experience in VR. Diese Ergebnisse zeigen, dass Probanden die VR-Umgebung in die Produktbewertung einfließen lassen, wodurch die Ergebnisse verzerrt werden (vgl. Brade et al.5,6). Daher sollten Nutzerstudien mit realen Prototypen nicht einfach durch VR-Nutzerstudien ersetzt werden. Wenn VR-Nutzerstudien durchgeführt werden, sollte auch Presence mit erhoben werden, da diese bei der Auswertung der Usability- und User Experience-Fragebögen wichtige Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse liefern.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Fakultät für Maschinenbau
Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement
Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr. h. c. mult. Reimund Neugebauer
Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Prof. Dr. Angelika C. Bullinger-Hoffmann

Chancen und Risiken von VR in der Produktentwicklung

M. Sc. Mario Lorenz, M. Sc. Max Bernhagen
Wissenschaftliche Mitarbeiter

Email: mario.lorenz@mb.tu-chemnitz.de
Tel.: +49 (0)371 / 531-39366

Email: max.bernhagen@mb.tu-chemnitz.de
Tel.: +49 (0)371 / 531-35897

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

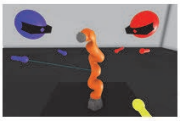
Agenda

1. **VR in der Produktentwicklung**
2. Risiken von VR-Nutzerstudien
3. Kernbotschaft

Herausforderungen der Produktentwicklung

- Globalisierung und Digitalisierung des Produktentwicklungsprozesses (PEP)
  - Innovation und Produktqualität als Erfolgsfaktoren

- Einsatz von rechnergestützten Produktentwicklungsmethoden
  - CAx, Digitale Fabrik, Digitale Menschmodelle
  - Optische Überprüfung komplexer Modelldarstellungen eingeschränkt
  - Ungeeignet für kollaborative Arbeitsprozesse



- Virtual Reality-Technologie als Erweiterung des PEP
  - 3D-Visualisierung, Erzeugung und Verarbeitung digitaler Produktdaten
  - Schaffung kollaborativer virtueller Arbeitsumgebung
  - Partizipation von Entwicklungspartnern, Kunden und Lieferanten an mult. Standorten (Simultaneous-Engineering)

VAR² 2017
4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung

Einsatzmöglichkeiten im Produktentwicklungsprozess

Design-Review

Montageuntersuchung

Produkt-definition → Konzept-entwicklung → Serien-entwicklung → Serien-vorbereitung → Produktion

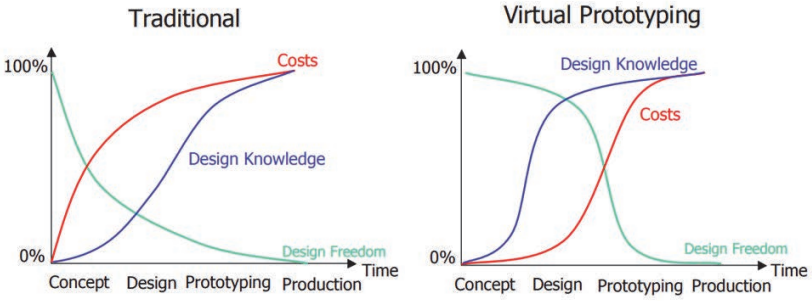
Produktgestaltung

Risikobewertung

Rademacher, 2014

VAR² 2017
4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung

Einsatzmöglichkeiten im Produktentwicklungsprozess



Rademacher, 2014

Versuchsdurchführung

- Demogr. Daten, Technikaffinität

Versuch

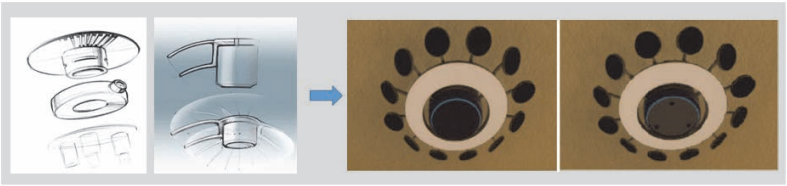
Versuchsbedingung „Notfall“
- Datenschutz, Akzeptanz

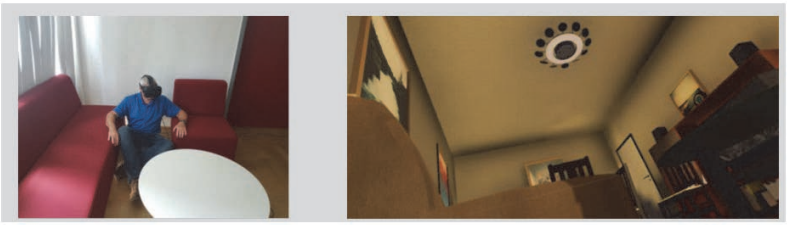
Versuchsbedingung „geleitete Beleuchtung“
- Datenschutz, Akzeptanz

Versuchsbedingung „Gesundheitsassistenz“
- Datenschutz, Akzeptanz

- Vertrauen, Technikakzeptanz, Sensordesign, VR-Erleben

Versuchsdurchführung





Herausforderungen der Produktentwicklung

Reality Judgement	Internal/ External Correspondence	Attention/ Absorption
3,84	4,10	3,36

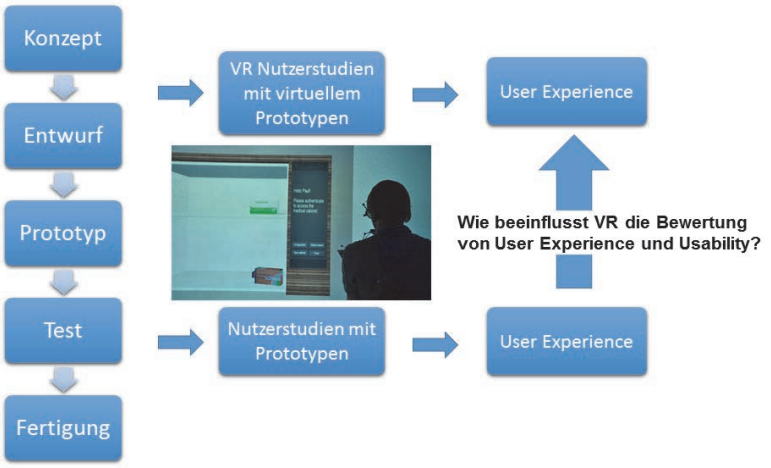
- Sensor wird positiv wahrgenommen
- Ältere Probanden unerwartet offen beim Thema Datenschutz
- Anwendung von VR-Technologie auf ältere Probandengruppen möglich
- Verwendung von Online/PC-Fragebögen für ältere Probanden problematisch

N=33
Skala 1[schlecht/ niedrig] ... 5 [sehr gut/ hoch]
Reality Judgement and Presence Questionnaire (Banos et al., 2000)

Agenda

1. VR in der Produktentwicklung
2. **Risiken von VR-Nutzerstudien**
3. Kernbotschaft

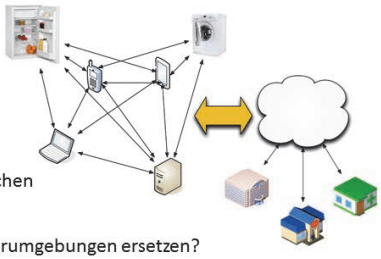
VR-Nutzerstudien



VR-Nutzerstudien: VR vs. Labor

VR-Usability-Studie: UTRUSTIT

- Projektziel: Den Nutzer
  - in geeigneter Weise über
  - sicherheitsrelevante Aspekte im
  - Internet der Dinge
  - zu informieren und so
  - Vertrauen zu schaffen und
  - fundierte Entscheidungen zu ermöglichen

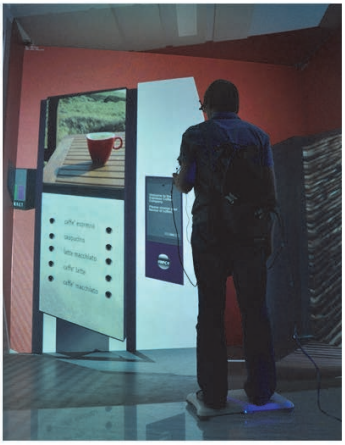


- Teilziel: Können virtuelle Umgebungen Laborumgebungen ersetzen?

VR-Usability-Studie: UTRUSTIT

- Das „intelligente Haus“ („Smart Home“ - SH) und das „intelligente Bürogebäude“ („Smart Office“ - SO)
- Vorgegebener Ablauf mit Aufgaben bei denen Sicherheitsentscheidungen erforderlich sind
- Interaktion mit Smartphones (SO) und Tablets (SH)
- Befragung vor, während und nach den Tests, u.a. Usability und Presence

VR-Usability-Studie: UTRUSTIT



VAR² 2017
4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung

VR-Usability-Studie: UTRUSTIT

- VR-Umgebung

- Laborumgebung

VR-Nutzerstudien: VR vs. Labor

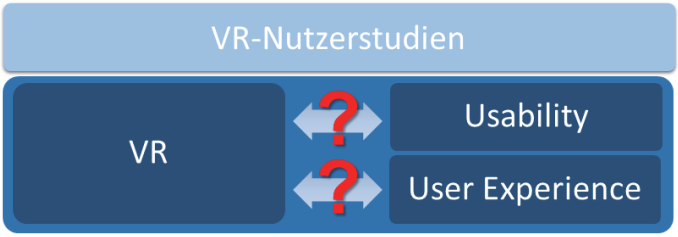
- Unterschiede in Presence zwischen VR und Labor
- KEINE Usability-Unterschiede ABER Korrelationen von Presence mit Usability in VR

VR ist scheint ein valider Ersatz für Labore zu sein

Busch, M.; Lorenz, M.; Tscheligi, M.; Hochleitner, C.; Schulz, T.: Being There For Real – Presence in Real and Virtual Environments and its Relation to Usability. In Proc. of NordiCHI, 2014. doi:10.1145/2639189.2639224

VR-Nutzerstudien: VR vs. Real

Sind Ergebnisse auf User Experience und reale Umgebung übertragbar



VR-User-Experience-Studie

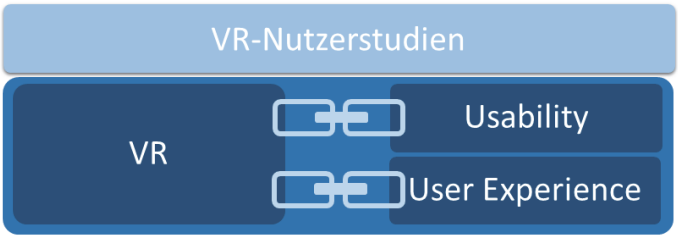
- Studie zu Erforschung des Effekts von **Presence auf Usability und User Experience** anhand eines Geocaching Spiels in **VR im Vergleich zur Realität** (N=31 in VR; N=29 in Realität)

VR-User-Experience-Studie

- **VR-Modell vs. reale Welt**

VR-Nutzerstudien: VR vs. Real

- VR beeinflusst wie Menschen Produkte bewerten
- Menschen bewerten das Produkt immer zusammen mit der virtuellen Umgebung
- Presence sollte immer mit erhoben werden, um deren positive und negative Auswirkungen auf Usability / User Experience zu berücksichtigen



Brade, J., Lorenz, M., Busch, M., Hammer, N., Tscheligi, M., & Klimant, P. (2017). Being there again–Presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task. *International Journal of Human-Computer Studies*, *101*, 76-87., http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.01.004

Agenda

1. VR in der Produktentwicklung
2. Risiken von VR-Nutzerstudien
3. **Kernbotschaft**

Kernbotschaft

1. **VR kann nicht einfach als Testumgebung für Nutzerstudien genommen werden**
2. **User Experience und Usability Ergebnisse sind in VR beeinflusst**
3. **Presence-Werte können bei der Interpretation der Ergebnisse helfen**

Literaturangaben

[1] Hergeth, S. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, 21.09.2016.

[2] van der Laan, J. D., Heino, A. & Waard, D. de. A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 5, 1–10 (1997).

[3] Busch, M., Lorenz, M., Tscheligi, M., Hochleitner, C. & Schulz, T. in Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Fun, Fast, Foundational - NordiCHI '14, edited by V. Roto, et al. (ACM Press, New York, New York, USA, 2014), pp. 117–126.

[4] Rauschenberger, M., Schrepp, M., Perez-Cota, M., Olschner, S. & Thomaschewski, J. Efficient Measurement of the User Experience of Interactive Products. How to use the User Experience Questionnaire (UEQ).Example. Spanish Language Version. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence 2, 39 (2013).

[5] Brade, J. et al. Being there again – Presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task. International Journal of Human-Computer Studies 101, 76–87 (2017).

[6] Brade, J., Lorenz, M., Klimant, P., Pürzel, F. & Putz, M. Virtual Reality for Industrial Application - The Influence of Presence and its Relation to Usability and User Experience. AMR 1140, 537–544 (2016).

Zur Konferenz

„Realität erweitern“ – so lautet auch das Motto der 4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik der Technischen Universität Chemnitz. Im Mittelpunkt der Konferenz stehen neben Basistechnologien virtueller Techniken wieder Anwendungsbeispiele von Virtual und Augmented Reality aus Industrie und Forschung.

Schon jetzt laden wir Sie herzlich zur 5. Fachkonferenz VAR² ein. Diese wird im Dezember 2019 in Chemnitz stattfinden

AVARE - Netzwerk zur Anwendung von Virtual und Augmented Reality

Mitveranstalter der Konferenz ist das durch die Professur geführte Forschungsnetzwerk AVARE (Netzwerk zur Anwendung von Virtual und Augmented Reality). In diesem Netzwerk haben sich im Oktober 2015 interessierte Unternehmen zusammengeschlossen, um anwenderorientiert den Einsatz und die Möglichkeiten virtueller Techniken zu erforschen. Dabei orientiert sich die gemeinsame Forschung des Netzwerkes an drei Hauptentwicklungslinien:

- Integrative Lösungen für die direkte Weiterverwendung von 3D-Daten aus der Konstruktion
- Innovative Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMI) für manuelle Tätigkeiten
- Problemlösung durch Vernetzung aktiver Systeme mit VR/AR

Weitere Informationen zum AVARE-Netzwerk finden Sie unter **www.avare.info**

– ISBN 978-3-00-058419-0 –