

# FORUM 3D, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

## 3D – Ein Wettbewerbsfaktor in der Logistik

Dipl.-Ing. Rupert Reif, Dipl.-Ing. Markus Schorr, Dipl.-Ing. Andreas Steghafner, Dipl.-Ing. Johannes Wimmer, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München

*Dieser Beitrag behandelt aktuelle Forschungstätigkeiten zum Einsatz von digitalen Werkzeugen am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) anhand von drei ausgewählten Beispielen. Dabei handelt es sich um die einfache und schnelle Erstellung von parametrisierbaren 3D-Modellen zur Planung von fördertechnischen Anlagen in der Intralogistik, um die Unterstützung des Kommissionierers mittels einer Datenbrille und der Augmented Reality (AR) Technologie sowie die Erarbeitung eines Konzeptes zur ganzheitlichen Abbildung eines Bauvorhabens in einem digitalen Baustellenmodell.*

## 1 Einleitung

Verkürzte Produktlebenszyklen und eine wachsende Variantenvielfalt sind Gründe für den steigenden Einsatz digitaler Werkzeuge in der Produktentwicklung und Konstruktion. Um diese Produkte herstellen zu können, müssen auch die Produktionsanlagen und die dazugehörigen Logistiksysteme flexibel gestaltet werden. Dies umfasst nicht nur die physischen Fertigungs- und Logistikprozesse, sondern auch die Planung bzw. die Umplanung und die Unterstützung des operativen Personals. Dieser Beitrag stellt virtuelle Werkzeuge zum einen für den Einsatz in der Intralogistik und zum anderen für die Baustellenlogistik vor. Oft ist der Aufwand, hochwertige virtuelle Modelle zu erzeugen sehr hoch und es werden Experten für die Bedienung der Softwaretools benötigt. Am Lehrstuhl fml wurde ein Plugin für die 3D-Animationssoftware Maya entwickelt, um über eine einfache Benutzerschnittstelle parametrisierbare Modelle von Fördertechnikkomponenten und gesamten Anlagen zu erstellen. Eine weitere wichtige Funktion moderner digitaler Technologien ist die Unterstützung des operativen Personals. Der Einsatz von Datenbrillen und der AR-Technologie bietet hierzu ein Potenzial den Lagermitarbeiter bei seiner Tätigkeit mit Informationen zu versorgen. Der dritte Beitrag beschäftigt sich mit dem Forschungsverbund ForBAU, der als Ziel die durchgängige parametrisierte 3D-Modellierung der Baustelle sowie die Integration weiterer digitaler Werkzeuge wie beispielsweise der Ablaufsimulation hat. Sämtliche Daten aus den verschiedenen Phasen eines Bauprojektes sollen in einer zentralen Datenplattform zusammengeführt und digital vorgehalten werden, um die vorhandenen Insellösungen in ein ganzheitliches Baustelleninformationsmodell zu integrieren.

## 2 Fördertechnik in 3D

Die Digitale Fabrik erlaubt durch ein vollständiges digitales Modell des Produktionsbetriebes noch während der Planungsphase eine Simulation der zukünftigen realen Anlage. Trotz immer weiter fortschreitender Technologien nimmt die Erzeugung der zur Visualisierung der Anlagen benötigten 3D-Modelle immer noch einen enormen Aufwand in Anspruch. Ein Prozess, der momentan von geschultem Fachpersonal quasi in Handarbeit ausgeführt wird und somit einen zeit- sowie kostenkritischen Faktor darstellt. Beispielsweise zeigt Abb. 1 eine vollständig digital erstellte Nachbildung der Versuchshalle des Lehrstuhls fml. Der Arbeitsaufwand einzig für Modellierung der beinhalteten Objekte betrug annähernd 120 Stunden.



Abb. 1: 3D-Modell der Versuchshalle des Lehrstuhls fml

Ein erster Schritt die hohe zeitliche und finanzielle Belastung einzuschränken, liegt in der Verwendung bereits vorhandener Konstruktionsdaten. Angesichts der darin enthaltenen Konstruktionshistorie und weiterer hauptsächlich firmeninterner Daten wird ein öffentlicher Bezug durch den Anwender, z. B. über das Internet, hingegen selten der Fall sein. Weitaus häufiger sind daher aus CAD-Dateien abgeleitete „tote“ Modelle. Dabei handelt es sich um mit Hilfe eines Austauschformats exportierte CAD-Dateien, welchen nur die reine Geometrie zu Grunde liegt, und somit keinerlei Aussage bezüglich Konstruktionsvorgehen und damit einhergehenden weiteren Informationen ermöglicht wird. Eine nachträgliche Änderung maßgeblicher Parameter (z. B. Länge, Breite, Höhe)

ist mit diesen Varianten dadurch nicht mehr möglich. Will man dem Wunsch nach Flexibilität bezüglich der Modellerstellung gerecht werden, muss deshalb ein anderer Ansatz gefunden werden.

Inwiefern die Erstellung parametrisierbarer 3D-Modelle – speziell im Bereich der Förder- und Lagertechnik – bereits durch Software-Lösungen verwirklicht wurde, zeigen die nachfolgenden Beispiele. Tarakos' Softwaretool "taraVRbuilder" ist ein 3D-Planungswerkzeug mit zeitbasierter Simulation von Förder-, Materialfluss- und Lagertechnik. Neben dem Aspekt der 3D-Visualisierung und dynamischer Analysen von virtuellen Fabriken verfügt die Software über einen separaten Regalkonfigurator [5]. Dieser erlaubt es verschiedenste Arten und Typen von Regalen zu erstellen. Darüber hinaus stehen mit Hilfe einer mitgelieferten Bibliothek fertige Modelle zur Verfügung. Nachbildungen von diversen Fördermitteln, Fahrzeugen und menschlichen Personals können in die 3D-Szene geladen werden und dort frei im Raum platziert werden. Gleiches Vorgehen ist im Programm VR-Lab von 4D Apps wiederzuerkennen. Als Planungsprimitive werden vordefinierte 3D-Modelle verwendet, welche mit den im Programm integrierten Werkzeugen parametrisiert und modifiziert werden können. Neben den Standardeigenschaften wie z.B. Größe und Position ist es des Weiteren möglich, die Modelle durch weitere Funktionen, beispielsweise Animationen, anzureichern [1].

Im Gegensatz zu den soeben erwähnten Lösungen, welche - jede für sich - separate Softwareprodukte darstellen, wurde beim vorliegenden Ansatz die zu Grunde liegende Logik als Plugin in eine bereits bestehende Applikation eingebettet. Mit der 3D-Animations-Software Autodesk Maya und seiner mächtigen Skriptsprache MEL (Maya Embedded Language) konnte auf ein solides Grundgerüst zur Realisierung dieser Benutzerschnittstelle zurückgegriffen werden. Die Generierung der 3D-Modelle erfolgt makrobasiert, d.h. die einzelnen Objekte werden durch Abarbeitung einer fest vorgegebenen Folge von Anweisungen bzw. MEL-Befehlen erstellt. Das Plugin dient grundsätzlich zur Erzeugung parametrisierbarer Förder- und Lagertechnikkomponenten. Rollenbahnen, Kettenförderer als auch Drehstationen zur Beeinflussung der Materialflussrichtung bilden den Schwerpunkt der zur Palettenbeförderung genutzten Anlagenkomponenten. Bezüglich Kleinteilefördertechnik können mit Stau- und Treibrollenbahnen sowie adäquaten Kurvensegmenten jegliche Varianten einer derartigen Förderstrecke realisiert werden. Darüber hinaus stehen dem Benutzer mit Fachboden- und Hochregalen wichtige Komponenten der Lagertechnik zur Verfügung. Die Erstellung der Objekte erfolgt für jede parametrisierbare Komponente gleichermaßen. Nachdem der grundlegende Typ (z. B. Kettenförderer) ausgewählt wurde, kann der Benutzer mittels einer intuitiv gestalteten grafischen Oberfläche die Eingabe der maßgeblichen Parameter vornehmen und das Objekt im Anschluss darauf erzeugen (siehe Abb. 2). Sobald die Komponente vorliegt, ermöglichen es unterschiedliche, vom Hauptprogramm zur Verfügung gestellte Transformationswerkzeuge, Position und Orientierung des Objektes zu verändern.

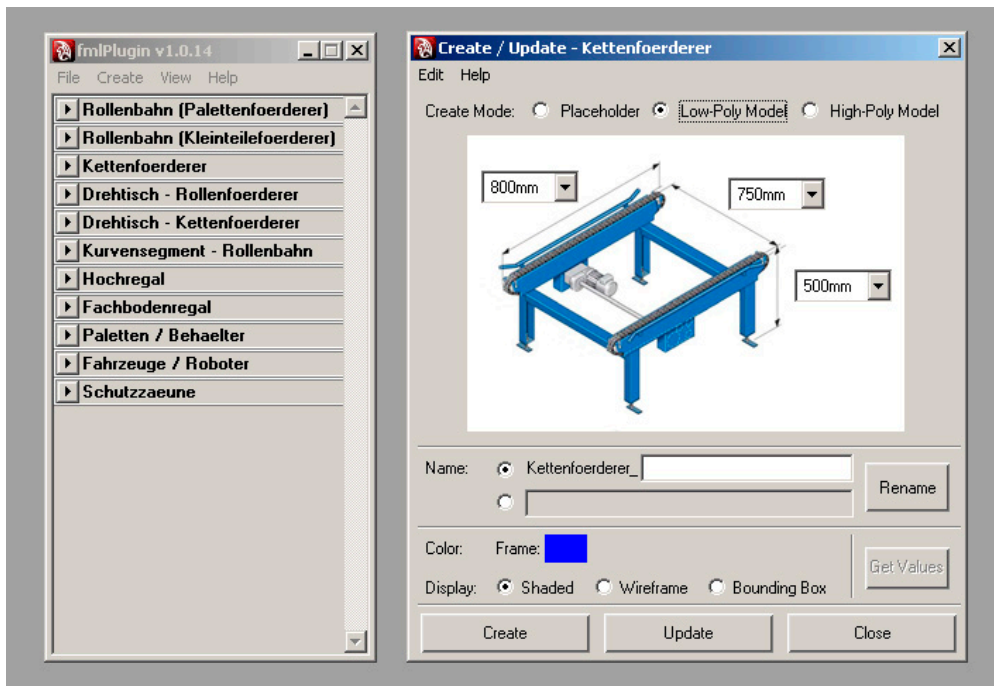


Abb. 2: Grafische Oberflächen des Plugins

In der aktuellen Version des Plugins kann der Benutzer zwischen drei verschiedenen Darstellungsvarianten der erstellten Anlagenkomponenten wählen, "Platzhalter", "Low-Poly" und "High-Poly". Als Platzhalter-Objekte werden im engeren Sinn einfache, texturbefahete Quader verstanden. Vor allem bei leistungsschwachen Computern oder Szenen mit einer Vielzahl von Objekten wird durch diesen Grad der Detaillierung eine ressourcensparende Darstellung erzielt. Mit den Varianten Low-Poly und High-Poly werden die Modelle dem normalen äußeren Erscheinungsbild entsprechend, jedoch mit unterschiedlicher Anzahl Polygone erstellt. Letztere Option entspricht im Wesentlichen einer Verfeinerung der Low-Poly-Variante, welche durch hinzufügen zusätzlicher Details an ausgewählten Teilen bzw. Bereichen der Komponenten diese optisch aufwertet. Abb. 3 zeigt am Beispiel einer Rollenbahn die unterschiedliche Darstellungsqualität der Erstellungsmodi „Low-Poly“ und „High-Poly“.

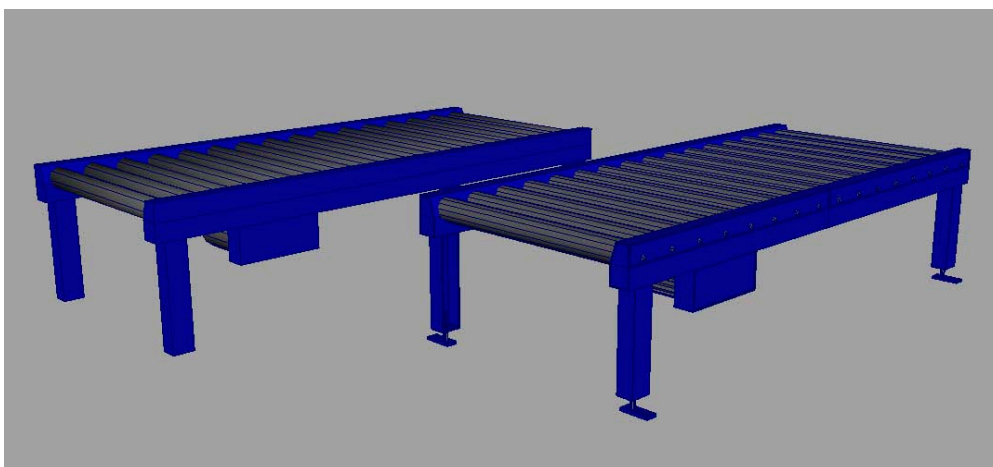


Abb. 3: Rollenbahn Low-Poly (links) – High-Poly (rechts)

Neben den mittels Parametereingabe dynamisch erzeugten Modellen, besteht weiterhin auch die Möglichkeit mit Hilfe einer Importfunktion bereits vorhandene, jedoch nicht veränderbare Modelle in die Szene zu integrieren. Dies ist einerseits in der Schwierigkeit eines kontrollierten Makroablaufs begründet, der vor allem bei Objekten mit komplexem Geometrieaufbau (z. B. Freiformflächen eines Industrieroboters) schwer zu realisieren wäre. Zudem macht es durchaus mehr Sinn, ein in den Abmaßen genormtes und somit nicht veränderbares Objekt, z. B. eine Europoolpalette, als fertiges Objekt zu importieren, anstatt es mit Hilfe von Befehlen bei jedem Aufruf neu zu erzeugen. Vorgehens für den Import sind Dateien im Format ".ma" (Maya Ascii) oder ".mb" (Maya Binary). Liegen die Modelle in anderen als den eben genannten Dateiformaten vor, können diese mit Hilfe von Datenkonvertierungs-Programmen, u. a. den kommerziell erhältlichen Konvertern Deep Exploration von Right Hemisphere oder Okino's Polytrans umgewandelt werden. Dateien vom Typ VRML<sup>1</sup> (.wrl), können durch die bereits während der Installation des Hauptprogramms registrierte Zusatzanwendung „wrl2ma.exe“ ohne weiteres in das native Maya-Dateiformat gebracht werden. Der abschließende Export der erstellten Szene erfolgt in eines der von Maya standardmäßig unterstützten Exportformate.

Das Plugin wurde hauptsächlich zu dem Zweck entwickelt, Benutzern die Möglichkeit einzuräumen, ohne fundierte Kenntnisse bezüglich eines 3D-Programms, digitale, voll parametrisierbare Modelle von Fördertechnik-Komponenten generieren zu können. Indem die üblicherweise rein manuellen Tätigkeiten während der Modellierungsphase komplett durch Makro-Skripte ersetzt wurden und der Benutzer durch intuitive, grafische Oberflächen unterstützt wird, kann der ansonsten sehr zeitaufwändige Erstellungsprozess auf ein Minimum reduziert werden. Momentan wird das Plugin als eigenständiges Werkzeug zur Erzeugung dreidimensionaler Modelle eingesetzt. Darüber hinaus bestünde die Möglichkeit, es in ein durchgängiges Logistikplanungswerkzeug zu integrieren. In erster Linie als Baustein zur Visualisierung des zu planenden Lagerlayouts könnte man die Ergebnisse einer Ablaufsimulation nutzen, um realitätsnahe Animationen zu generieren. Des Weiteren könnten datenbankgestützte Informationen, z. B. Regalgasenbreiten für eine automatische Anordnung bzw. Platzierung der erstellten Modelle verwendet werden. Inwiefern sich ein derartiges Werkzeug letztlich verwirklichen lässt, wird sich in naher Zukunft zeigen.

### **3 Pick-by-Vision**

#### **3.1 Einsatz von Augmented Reality in der Kommissionierung**

Augmented Reality bietet die Möglichkeit, die Realität in Echtzeit um virtuelle Informationen zu erweitern. Es sind viele Einsatzbereiche - von Computerspielen über die Medizintechnik bis zu industriellen Anwendungen - denkbar. Die Kommissionierung<sup>2</sup>, bei der dem Mitarbeiter alle benötigten Informationen über eine Datenbrille bereitgestellt wer-

---

<sup>1</sup> Virtual Reality Modeling Language

<sup>2</sup> Unter Kommissionierung wird das Zusammenstellen von Teilmengen aufgrund von Aufträgen aus einem Sortiment verstanden.

den, ist dabei einer, der am meisten Erfolg verspricht [4]. Der Mensch ist in der Kommissionierung wegen seiner Flexibilität und seinen motorischen Fähigkeiten meist nicht zu ersetzen und es gilt in informationstechnisch optimal zu unterstützen. AR bietet hierfür ein großes Potenzial.

### **3.2 Stand der Technik**

Ein erster Kommissionierdemonstrator wurde bei Volkswagen im Labor aufgebaut [2]. Dabei sparte das AR-System ca. 25% Bearbeitungszeit gegenüber dem herkömmlichen papierbasierten Verfahren ein. Die größten Zeiteinsparungspotenziale liegen in der Reduzierung von Suchzeiten und Totzeiten, welche durch die Parallelisierung von Informationsaufnahme mit Nebentätigkeiten minimiert werden. Das Heinz-Nixdorf-Institut (HNI) der Universität Paderborn unternahm ebenfalls Versuche zum Einsatz einer Datenbrille in der Kommissionierung [6]. Den Probanden wurden neben Pickinformationen als Text auch eine Übersichtskarte und eine optische Hervorhebung des Lagerfachs durch eine Umrandung angezeigt. Es stellte sich ein deutlicher Lerneffekt ein, wobei bei den Benutzern Orientierungsprobleme und Gleichgewichtsstörungen auftraten. Dies lag an der verwendeten Datenbrille, über die die Benutzer nur einen kleinen Ausschnitt ihres Umfeldes durch ein mit den virtuellen Daten angereichertes Video wahrnehmen konnten. Einen Feldversuch in der montagenahen Kommissionierung unternahm die metaio GmbH zusammen mit DaimlerChrysler Nutzfahrzeuge [3]. Durch die Verwendung eines monokularen Durchsichtdisplay konnte der Benutzer seine Umgebung vollständig wahrnehmen. Es wurden nur Textinformationen angezeigt und als Interaktionsgerät dienten einige Funktionstasten am mobilen Rechner und ein einfacher Button zur Quitting. Die Anlernphase war auch hier sehr kurz und die Mitarbeiter empfanden die Gestaltung der haptischen und visuellen Schnittstelle als gelungen und zweckmäßig. Allerdings war die Belastungen durch die Geräte hinsichtlich Gewicht und Wärmeentwicklung hoch. Bei zeitlich begrenzten Aufgaben mit hinreichend Nutzungspausen wurde der Einsatz der Datenbrille als unbedenklich eingestuft; ein Vollschichteinsatz kann jedoch nicht bedenkenlos empfohlen werden. Außerdem traten bei manchen Mitarbeitern Kopfschmerzen auf, die durch die unvorteilhafte Gewichtsverteilung beim Tragen der Datenbrille verursacht wurden [4]. Zusammen mit dem Fachgebiet für Augmented Reality (FAR) der TU München führte der Lehrstuhl fml eine Testreihe zur Informationsdarstellung in der Kommissionierung durch [7]. Unter anderem wurde dabei eine AR-Variante mit einer ähnlichen Datenbrille wie am HNI untersucht. Das beschränkte Sichtfeld und die schlechte Tiefenwahrnehmung erwiesen sich als die größten Probleme gegenüber den anderen eingesetzten Informationsbereitstellungstechniken.

### **3.3 Kommissionierdemonstrator am Lehrstuhl fml**

Nach den ersten Evaluierungen der verschiedenen Techniken wird am Lehrstuhl fml an einem AR-Kommissioniersystem, Pick-by-Vision genannt, gearbeitet, welches auch für den Praxiseinsatz geeignet ist. Zunächst wurde für einen praxisnahen Anwendungsfall die geeignete Hardware ausgesucht. Als Datenbrille dient ein monokulares Durchsichtdisplay (siehe Abb. 4). Da die Sicht des Mitarbeiters auf seine Umgebung

nicht eingeschränkt wird, entspricht diese Datenbrille den arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen. Die Ausgabe erfolgt monochrom rot. Dies ist kein Nachteil, da in der Kommissionierung die Anforderungen an die Visualisierung relativ niedrig sind und der Kontrast mit roter Farbe bei allen Umgebungsbedingungen sehr gut ist. Als Eingabegerät für die einfachen Befehle wird eine Sprachsteuerung verwendet, denn die Sprache ist die natürlichste Form für den Menschen Informationen weiterzugeben. Der Mitarbeiter trägt dazu ein Headset und hat somit beide Arme für seine eigentliche Tätigkeit frei. Die Einbindung dieses Pick-by-Vision-Systems in den Informationsfluss eines Unternehmens erfolgt über ein Warehouse Management System (WMS), das die Kommissionieraufträge erstellt und die Lagerplätze verwaltet.



Abb. 4: Kommissionieren mit einem monokularen Durchsichtdisplay und die angezeigten Daten (kleines Bild)

Die gesamte Führung des Benutzers durch den Kommissionierprozess erfolgt mit Textanweisungen über die Datenbrille und seine Interaktionen führt er über das Sprachsystem. Der Kommissionierauftrag beginnt mit der Auftragsauswahl. Nach der Aufnahme des Sammelbehälters werden die einzelnen Positionen sequentiell visualisiert. Die Positionen werden vom WMS bereits wegoptimiert vorgegeben. Der Benutzer bestätigt zuerst die Ankunft am Lagerplatz und daraufhin entnimmt er die Artikel. Die Entnahme bestätigt er mit der Ansage der Anzahl, um das Risiko von Mengenfehlern zu reduzieren. Am Ende des Auftrags erhält er die Information, dass er den Behälter am Kontrollplatz abgeben muss. Solange noch Aufträge im WMS vorhanden sind, beginnt dieser Prozess von neuem.

### 3.4 Aufbau und Durchführung der Versuchsreihe

Um die Leistungsfähigkeit und die Benutzerakzeptanz des AR-Systems zu überprüfen, wurde in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml eine Benutzerstudie durchgeführt. Eine Papierliste als intuitives Medium und ein Pick-by-Voice-System dienten als Referenz-

techniken für diesen Versuch<sup>3</sup>. Das Pick-by-Vision-System entspricht dem Pick-by-Voice-System und wurde nur um die Datenbrille erweitert. So können auch die Vorteile der visuellen Unterstützung besser erkannt werden. Der Lageraufbau in der Versuchshalle besteht aus zwei Regalgassen mit 280 Lagerplätzen. Das Lager ist mit Sichtlagerkästen gefüllt, die Kartons in verschiedenen Größen enthalten. Ein paar Meter vor dem Lager befindet sich die Basis, an der die Sammelbehälter aufgenommen und abgegeben werden. Diese Sammelbehälter werden auf einem Kommissionierwagen durchs Lager gefahren. Jeder Proband musste mit jeder Kommissioniertechnologie fünf Aufträge abarbeiten. Darunter waren drei Aufträge mit drei Positionen und zwei mit sieben. Zwischen den Versuchsreihen beantworteten sie Fragebögen über die Benutzerakzeptanz zur vorhergehenden Technik. Die Reihenfolge der Kommissioniertechniken wurde systematisch variiert, um Lerneffekte zu minimieren. Außerdem war ein Fragebogen zu persönlichen Daten auszufüllen. Nach einer kurzen Einweisung begannen die Probanden die jeweilige Versuchsreihe an der Basis. Insgesamt nahmen 17 Personen an dem Versuch teil. Diese waren zum überwiegenden Teil Akademiker aus dem Umfeld des Lehrstuhls fml mit einem Durchschnittsalter von ca. 26 Jahren, so dass diese Stichprobe nicht unbedingt mit dem Personal in einem realen Lager übereinstimmt. Außerdem wurde bei den Probanden deren Erfahrungen im Bereich der Kommissionierung und der 3D-Visualisierung (AR, Virtual Reality (VR), Datenbrillen) abgefragt.

### **3.5 Ergebnisse der ersten Versuchsreihe**

In der Kommissionierung sind vor allem zwei Kennzahlen wichtig. Die Kommissionierleistung beschreibt die Anzahl an Positionen, die pro Stunde abgearbeitet wurden. Da die Anzahl an Positionen für jeden Probanden gleich war, ist es ausreichend, wenn nur die Zeiten verglichen werden. Die zweite wichtige Größe sind die Kommissionierfehler, d.h. wenn eine falsche Menge oder ein anderer Artikel entnommen wird. Bei der Kommissionierzeit zeigte sich, dass die Papierliste besser abschnitt als die beiden Vergleichstechniken (siehe Abb. 5). Dies lag zum einen daran, dass die Liste intuitiv zu handhaben ist und zum anderen dass die Sprachsteuerung nicht optimal konfiguriert war, d.h. dass Befehle oft wiederholt werden mussten. Unter allen Probanden ist bei der Benutzung von Pick-by-Vision eine deutliche Steigerung zwischen dem ersten und zweiten Auftrag zu erkennen. Danach gab es nur noch leichte Steigerungen. Da es keinen Probedurchgang gab, diente der erste Auftrag zum Kennenlernen des Systems. Die Steigerung zum zweiten ist ein Indiz für die steile Lernkurve des AR-Systems. Auffällig zeigt sich auch, dass es vor allem bei Pick-by-Vision unter den Probanden eine große Streuung gibt. Einige konnten mit diesem System sehr gut umgehen und waren schneller als mit der Papierliste, andere hatten damit ihre Probleme. Dieses Erkenntnis hängt mit der Erfahrung der Probanden im Bereich AR/VR zusammen. Über alle Versuchsreihen hinweg wurde der schnellste Auftrag mit Pick-by-Vision

---

<sup>3</sup> Außerdem wurde diese Versuchsreihe in einer komplett virtuellen Umgebung im Virtual Reality Labor durchgeführt. Dies wird nicht weiter behandelt. Allerdings hat diese Versuchsreihe auch Auswirkungen auf die Versuche im realen Lager (z.B. Greifraum, nur Kartons als Artikel, Anzahl der Aufträge und Positionen oder maximal zwei Entnahmeeinheiten pro Position).



abgearbeitet. Bei der Untersuchung der Kommissionierfehler ist das Bild ähnlich. Der Unterschied zwischen Pick-by-Voice und Pick-by-Vision ist noch deutlicher (siehe Abb. 5). Die Probanden verstanden die Sprachansage oft nicht richtig und griffen in ein falsches Lagerfach. Bei der Auswertung der logistischen Kennzahlen schneidet die optisch unterstützte Variante besser ab. Daran ist zu erkennen, dass der Mensch seine Informationen hauptsächlich über die Augen aufnimmt. Einen weiteren großen Einfluss auf die Ergebnisse hat die Erfahrung im AR/VR-Bereich, denn diese Probanden waren um ein Fünftel schneller und begingen um ein Drittel weniger Fehler.

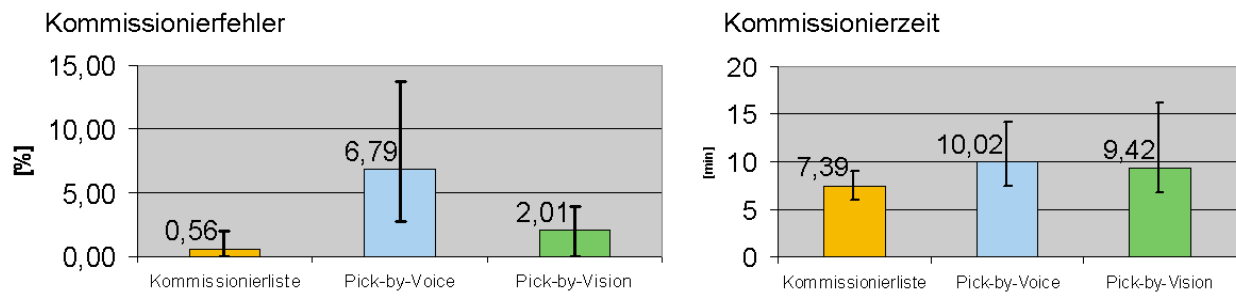


Abb. 5: Mittelwerte sowie die Minimal- und Maximalwerte der Kommissionierfehler (links) und der Kommissionierzeit (rechts) mit den verschiedenen Kommissioniertechnologien

Damit sich eine neue Technologie für den Einsatz in der Praxis eignet, muss sie nicht nur Vorteile für den Prozess bringen, sondern auch bei den Mitarbeitern akzeptiert werden, die täglich damit zu tun haben. Deshalb wurde die Benutzerakzeptanz der einzelnen Informationsbereitstellungstechnologien über Fragebögen mitbewertet. Dabei schnitt Pick-by-Vision in allen Kategorien besser ab als Pick-by-Voice. Nur bei den Fragen zum Lernerfolg und –transfer wurde die Papierliste etwas besser eingestuft. Abb. 6 zeigt, dass die kognitive Belastung deutlich geringer ist, als wie mit Pick-by-Voice. Dies liegt vor allem daran, dass eine hohe Aufmerksamkeit bei den Sprachausgaben gefordert ist, um diese richtig zu verstehen und sich diese dann zu merken. Auch bei der Benutzerfreundlichkeit wird ein System mit optischer Unterstützung besser bewertet (siehe Abb. 6). Es ist aber auch die Probandenstruktur zu beachten. Die meisten Versuchsteilnehmer haben einen akademischen Hintergrund in einem technischen Studienfach und sind somit sehr aufgeschlossen gegenüber neuen Technologien. Das System wird aber auch beim operativen Personal bei Industriepartnern überwiegend positiv bewertet. Dies wurde bei mehreren Befragungen und Demonstrationen vor Ort festgestellt.

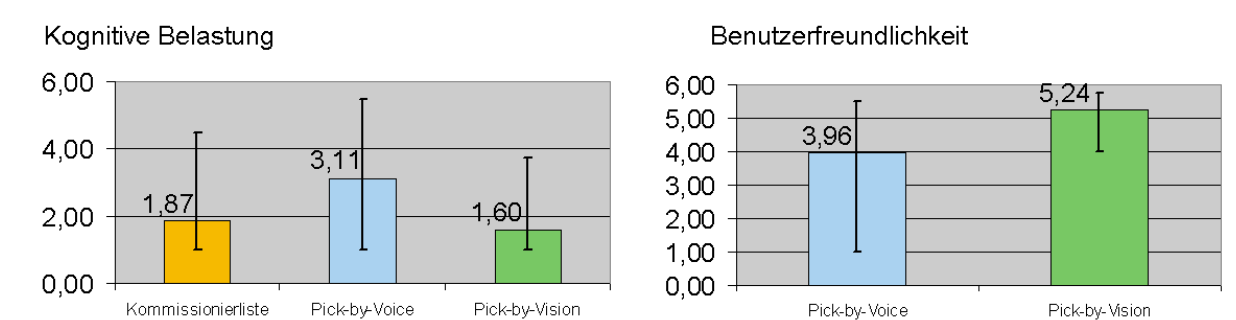


Abb. 6: Mittelwerte sowie die Minimal- und Maximalwerte der kognitiven Belastung (links) und der Benutzerfreundlichkeit (rechts) mit den verschiedenen Kommissioniertechnologien

### 3.6 Ausblick

Diese erste Versuchsreihe zeigt die Potenziale der AR-unterstützten Kommissionierung. Die Probanden nahmen die Technologie gut an. Bei den logistischen Kennzahlen sind zum einen das Potenzial und zum anderen auch die Verbesserungsmaßnahmen zu erkennen. Die Informationsdarstellung kann noch weiter optimiert werden, denn die Versuchsteilnehmer benötigten nicht alle angezeigten Daten und parallel dazu muss eine Weiterentwicklung der Sprachsteuerung erfolgen. Diese Arbeiten werden am Lehrstuhl fml aktuell durchgeführt und stehen kurz vor dem Abschluss. Anschließend stehen neue Versuchsreihen im Labor und bei einem Industriepartner an.



Abb. 7: Virtuelle Umrandung eines Lagerfachs (Quelle: FAR)

Außerdem wird zusammen mit dem FAR an einem zweiten Kommissionierdemonstrator gearbeitet. Dieser beinhaltet ein Infrarottrackingsystem, mit dem die Datenbrille und somit die Blickrichtung des Benutzers verfolgt werden kann. Somit werden die Informationen lagerrichtig in das Sichtfeld des Benutzers eingeblendet. Dies können z.B. Pfeile sein, die den Weg zum nächsten Lagerfach weisen, oder Umrandungen des Lagerfachs selbst, um Greiffehler zu vermeiden (siehe Abb. 7). Derzeit werden verschiedenste Visualisierungen implementiert und evaluiert. Anschließend wird dieses System in Versuchsreihen mit anderen Kommissioniertechniken verglichen. Die Praxistauglichkeit dieses Systems ist noch nicht gegeben, weil es keine Trackingsysteme gibt, die in großen Lagern wirtschaftlich eingesetzt werden können. Auch im Bereich der Datenbrillen ist weitere Entwicklungsarbeit notwendig, da diese ergonomische Mängel aufweisen und sich nicht für den ganztägigen Einsatz eignen. Aber diese Komponenten eines AR-Systems halten langsam Einzug in den Alltag. Ob dies Datenbrillen für den mobilen Multimediaeinsatz, die Trackingtechnologie in der Nintendo Wii™ oder das erste AR-Computerspiel von Sony sind, trägt dies zu einer Weiterentwicklung der Technologie bei.

## 4 Durchgängige 3D-Modellierung in der Bauwirtschaft

### 4.1 Ausgangssituation

Die deutsche Bauwirtschaft steht gegenwärtig vor der Aufgabe, ihre Kostennachteile gegenüber EU-Konkurrenten mit deutlich niedrigerem Lohnniveau im Vergleich zu Deutschland wettzumachen. Da die Unternehmen jedoch nur bedingt Einfluss auf die Personalkosten nehmen können, muss der Weg zum wirtschaftlichen Bauen über effiziente Strukturen und technisch organisatorische Innovationen sowohl in den Bauprozessen als auch in der gesamten Bauabwicklung führen. Baufirmen beschäftigen sich klassischerweise mit Innovationen in ihren Kernkompetenzen. Sie beginnen erst seit einigen Jahren die enormen Potenziale zu erkennen, die in der Verbesserung der Abläufe und der Optimierung der Zusammenarbeit zwischen Planern, Konstrukteuren und Dienstleistern auf der Baustelle verborgen liegen, indem Bauprozesse ganzheitlich betrachtet und abgebildet werden.

### 4.2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsverbundes „Virtuelle Baustelle“ (ForBAU) ist die Erarbeitung eines Konzeptes zur ganzheitlichen Abbildung eines komplexen Bauvorhabens in einem digitalen Baustellenmodell. Es soll sämtliche Daten hinsichtlich der Planung, Vermessung, Arbeitsvorbereitung, Buchhaltung sowie dem Fortschritt der Baustelle selbst berücksichtigen und in einer integrativen Plattform zusammenführen. Digitale Werkzeuge bilden die Basis für dieses ganzheitliche Konzept (siehe Abb. 8). Im Rahmen einer Demonstrationsbaustelle soll dieses schließlich in der Praxis validiert werden.



Abb. 8: Die ForBAU Vision

#### 4.2.1 Globale Ziele

In diesem Forschungsprojekt soll ein besonderer Schwerpunkt auf den Tief- und Ingenieurbau gelegt werden, da gerade für diese Baustellentypen der Stand der Forschung noch sehr gering ist, während für den Hochbau bereits verschiedene Forschungsansätze existieren. Für die ganzheitliche Abbildung eines komplexen Bauvorhabens ist die

Integration der Daten aus verschiedenen Bereichen wie der Konstruktion und Planung, Vermessung, Arbeitsvorbereitung, dem Controlling und der Baustelle selbst erforderlich (siehe Abb. 9). Hierzu dient als zentrale Datenplattform ein Produktdatenmanagementsystem (PDM-System). Durch eine Kopplung der unterschiedlichen CAD-Modelle (z.B. für Bauwerk, Baugrund, Baustelleneinrichtung etc.) in einem Baustelleninformationsmodell können mit den zeitlich-räumlichen Abhängigkeiten der Bauprozesse weitreichende Optimierungspotenziale im gesamten Ablauf nutzbar gemacht werden. Dieses Modell soll während des Bauvorhabens dynamisch aktualisiert werden und verschiedenen Nutzern durch gezielte Abfragen zu jeder Projektphase relevante technische und wirtschaftliche Informationen liefern. Kritische Prozesse oder Abläufe sollen vorab im virtuellen Modell des Bauvorhabens simuliert werden, um später auf der realen Baustelle ohne Verzögerungen und unnötige Stillstandszeiten durchgeführt werden zu können. Auch der wirtschaftliche Erfolg eines Bauvorhabens kann über die virtuellen Modelle bereits in frühen Projektphasen abgeschätzt werden. Während der gesamten Bauzeit soll die tatsächlich erbrachte Leistung auf der Baustelle durch mobile EDV-Systeme dokumentiert und in das vorhandene virtuelle Baustellenmodell eingepflegt werden. So wird der Baufortschritt protokolliert und bei Planungsabweichungen können frühzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Es entstehen dynamische 4D-Baustelleninformationsmodelle, die neben der Geometrie und dem zeitlichen Verlauf zusätzlich auch modellbezogene Daten wie z.B. qualitätsrelevante Dokumente beinhalten.



Abb. 9: Neue Technologiefelder für die virtuelle Bauabwicklung

Die Hauptaufgaben des Forschungsvorhabens lassen sich im Wesentlichen mit folgenden Kernpunkten beschreiben:

- Durchgängige 3D-Modellierung des Bauwerks, der Baustelle und der Bauprozesse mit Nutzung der Modelldaten über alle Prozessstufen
- Zentrale Datenverwaltung und Entwicklung von Strategien zur modellbezogenen Datenhaltung und kontextabhängigen Aufbereitung für die verschiedenen Nutzer des Modells (PDM)

- Dynamische Ablaufsimulation der Bauprozesse zur Validierung der statischen Projektpläne
- Ganzheitliche Optimierung der Prozessabläufe auf der Baustelle unter Berücksichtigung der Subunternehmereinbindung
- Integration von Daten aus Bauausführung in das Modell (Soll-Ist Abgleich)

#### **4.2.2 Herausforderungen im Bereich der 3D-Modellierung und Visualisierung**

Im Bereich der 3D-Modellierung und Visualisierung wird die frühzeitige Integration vorhandener innovativer Modellierungstechniken in ein standardisierbares Prozessmodell der Baustellenabwicklung angestrebt. Dieses prozessbegleitende Modell soll über den gesamten Projektverlauf genutzt und weiter bearbeitet werden. Bisher sind derartige Ansätze nur wenig verbreitet und auch nur unzureichend in den gesamten Bauablauf eingegliedert. Vor allem im Bereich der CAD-Modellierung würden sich durch eine prozessübergreifende Nutzung über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks deutliche Optimierungspotenziale ergeben. In der Baubranche zählen gegenwärtig lediglich 2D-CAD-Pläne zum etablierten Stand der Technik. Die Möglichkeiten und Potenziale einer durchgängigen 3D-modellbasierten Planung mit zahlreichen Zusatzinformationen im Modell werden jedoch noch kaum genutzt. Während in anderen Branchen seit einigen Jahren integrierte Produktmodelle für Design, Konstruktion, Fertigung und Qualitätsmanagement über PDM bzw. Product-Lifecycle-Management-Systeme (PLM-Systeme) organisiert und verwaltet werden, werden die CAD-Systeme in der Baubranche oftmals nur als digitale Zeichenbretter verwendet. Speziell im Tief- und Ingenieurbau besteht deutlicher Handlungsbedarf, Methoden und Instrumente zu entwickeln, die den Planungsprozess systematisch unterstützen und sowohl die Dokumentation als auch Änderungsverwaltung deutlich vereinfachen. Aktuell werden die Planungen der Baustellen im Tief- und Ingenieurbau noch überwiegend mit 2D-Systemen durchgeführt. Diese stellen dem Anwender zwar sehr umfangreiche Standardwerkzeugkästen und bauspezifische Normteile zur Verfügung, erlauben aber keine logischen Abhängigkeiten zwischen den Einzelelementen im Modell, die bei Änderungen automatisch aktualisiert werden. Durch den Einsatz von „intelligenten 3D-Modellen“, die parametrisiert sind und über zusätzliche Objektinformationen wie beispielsweise Kosten oder Prozessabhängigkeiten bei der Produktion verfügen, könnten deutliche Rationalisierungspotenziale bei der Modellerstellung und der späteren Verwendung im Konstruktions- und Produktionsprozess erschlossen werden.

Ein weiteres großes Aufgabengebiet des Verbundes ist die ereignisbasierte Simulation der Bauprozesse zur Optimierung der Baustellenlogistik. Simulation wird derzeit in der Baubranche noch stark produktbezogen im Konstruktions- und Entwicklungsprozess gesehen. So gehören Strömungssimulationen in Gebäuden oder statische Untersuchungen von Modellen bei Großprojekten heute bereits zum Stand der Technik. Dynamische Ablaufsimulationen, die den Fertigungsprozess selbst untersuchen, werden dagegen bisher in der Baubranche kaum verwendet, obwohl gerade durch die Vielzahl

unvorhersehbarer Randbedingungen eine Betrachtung des gesamten Bauvorhabens wichtig wäre. Eine Simulation des Bauablaufs bestätigt nicht nur die Güte der Terminplanung im Bauzeitenplan, sondern bietet bei geeigneter Verknüpfung mit dem 3D-Baustellenmodell in Verbindung mit der Visualisierung in einer Virtual Reality Umgebung (siehe Abb. 10) auch die Möglichkeit, die Realisierbarkeit des Bauvorhabens mit der geplanten Vorgehensweise gegenüber dem Auftraggeber zu demonstrieren oder rechtzeitig geeignete Notfallstrategien zu definieren. Da jede Baustelle unterschiedliche Randbedingungen hat, sollen über eine Schnittstelle aus dem 3D-Modell wichtige Parameter entnommen werden, um einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz zu ermöglichen.

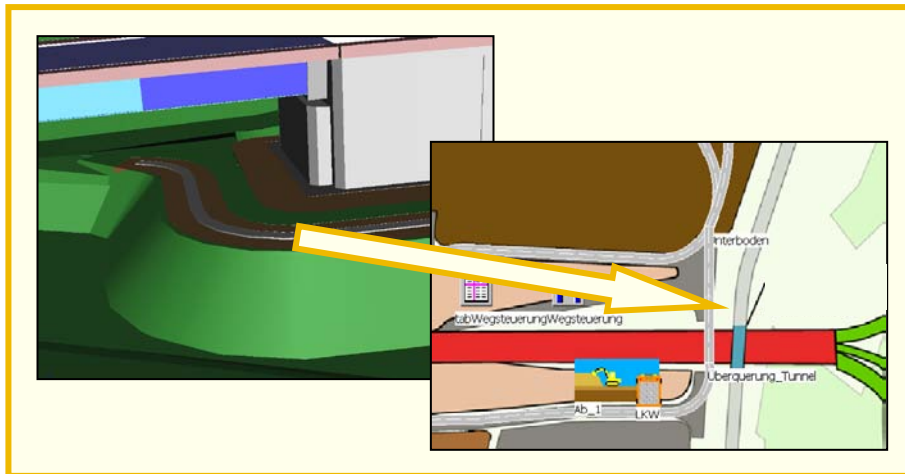


Abb. 10: Übernahme von 3D-Daten in die Ablaufsimulation

#### 4.3 Interdisziplinärer Charakter des Forschungsverbundes

Neben den in ForBAU kooperierenden Forschungseinrichtungen der Universitäten Erlangen-Nürnberg mit dem Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik (mit dem Fraunhofer ATL), der Hochschule Regensburg mit der Fakultät Bauingenieurwesen und der TU München mit den Lehrstühlen für Computation in Engineering, fml und dem Zentrum Geotechnik sind führende Firmen aus den Bereichen Software, Gerätetechnik, Bauausführung und -planung aktiv am Forschungsverbund beteiligt.

Mit der intensiven Unterstützung dieser Unternehmen sollen die anstehenden Forschungsaufgaben gelöst werden. Durch die unterschiedlichen Arbeitsfelder der einzelnen Institute und den starken Praxisbezug wird die interdisziplinäre Vernetzung der Forschungsarbeit gewährleistet. Während der Projektlaufzeit sollen die Ergebnisse an mehreren geeigneten realen Bauvorhaben validiert werden, um von vorne herein praxistaugliche Lösungen erarbeiten und umsetzen zu können.

### 5 Fazit

Digitale Technologien halten in vielen Disziplinen und Branchen Einzug. Beginnend in der Produktentwicklung über die Anlagenplanung bis hin zur Unterstützung des operativen Personals finden Technologien wie 3D-Modellierungsverfahren oder Anwendungen der Virtual und Augmented Reality ihren Platz in der heutigen Welt. Die Automobilfirmen sind nach wie vor Vorreiter in der Verbreitung und der Weiterentwicklung dieser Werk-

zeuge, aber auch in anderen Branchen wie der Intralogistik oder sogar der als eher konservativ geltenden Bauindustrie werden diese Techniken vermehrt eingesetzt, weil sie einen Wettbewerbsvorteil in der globalisierten Welt darstellen.

## Literaturverzeichnis

- [1] 4D Apps, Ingenieurbüro für Softwareentwicklung, VR-Lab, <http://www.vr-lab.de>  
15.07.2008
- [2][Alt, T.: Augmented Reality in der Produktion. München: Herbert Utz Verlag, 2003
- [3][BRA-05]: Brau, H.; Ullmann, C.; Duthweiler, M.; Schulze, H.: Gestaltung von Augmented Reality Applikationen für Kommissionieraufgaben. In: Urbas, L.; Steffens, C. (Hrsg.): Zustandserkennung und Systemgestaltung Bd. 19. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2005
- [4]Kampmeier, J.; Cucera, A.; Fritzsche, L.; Brau, H.; Duthweiler, M.; Lang, G. K.: Eignung monokularer Augmented Reality – Technologien in der Automobilproduktion. In: 104. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft "Augenheilkunde in der alternden Gesellschaft - Herausforderung und Chance". 21.-24.09.2006, Berlin
- [5]Kluger, R.: Virtual Reality simuliert Abläufe in der Logistik. Elektrotechnik – Das Automatisierungs-Portal, 02.10.2006.  
<http://www.elektrotechnik.vogel.de/engineeringsoftware/articles/45076/>  
15.07.2008
- [6]Mueck, B.; Höwer, M.; Franke, W.; Dangelmeier, W.: Augmented Reality Applications for Warehouse Logistics. In: Abraham, A.; Dote, Y.; Furuhashi, T.; Köppen, M.; Ohuchi, A.; Ohsawa, Y. (Hrsg.): Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology, 2005, S. 1053-1062
- [7]Schwerdtfeger, B.; Reif, R.; Frimor, T.; Klinker, G.: Neue Techniken zur Informationsbereitstellung in der Kommissionierung. In Günthner, W. A. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Berlin: Springer-Verlag 2007, S. 487-500