



Uwe Freiherr von Lukas, Eva-Maria Mahnke, Kristine Bauer (Hrsg.)

Go-3D 2013

»Computergraphik für die Praxis«

Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2013

FRAUNHOFER VERLAG

Go-3D 2013
»Computergraphik
für die Praxis«
Tagungsband

Uwe Freiherr von Lukas, Eva-Maria Mahnke,
Kristine Bauer (Hrsg.)

Go-3D 2013

»Computergraphik für die Praxis«

**Tagungsband zur Konferenz
Go-3D 2013**

Rostock, 29. August 2013



Kontaktadresse:

NEMO-Netzwerk Go-3D
c/o Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
Joachim-Jungius-Straße 11
18059 Rostock
Telefon: +49 381 4024-110
Telefax: +49 381 4024-199
E-Mail: info@go-3d.de
URL: www.go-3d.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im
Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN: 978-3-8396-0594-3

Druck und Weiterverarbeitung:
IRB Mediendienstleistungen
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by FRAUNHOFER VERLAG, 2013

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon: +49 711 970-2500, Telefax: +49 711 970-2508
E-Mail: verlag@fraunhofer.de, URL: <http://verlag.fraunhofer.de>
Titelbild: © haveeseen – Fotolia.com

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Programmkomitee

Claus Abt, *Friendship Systems GmbH*

Christoph Baier, *Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG*

Prof. Benedict Boesche, *Hochschule Kiel*

Dr.-Ing. Axel Friedewald, *TU Hamburg-Harburg*

Dr. Volker Gries, *ANOVA Multimedia Studios GmbH*

Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn, *Universität Oldenburg*

Peter Hauschildt, *ThyssenKrupp Marine Systems GmbH,
Geschäftsbereich HDW*

Dr.-Ing. Volker Köhler, *MarineSoft GmbH*

Prof. Dr.-Ing. Uwe Freiherr von Lukas, *Fraunhofer IGD*

Prof. Dr.-Ing. Oliver Staadt, *Universität Rostock*

Dr.-Ing. Cornel Thill, *DST Entwicklungszentrum für Schiffstechnik
und Transportsysteme e. V.*

Prof. Dr.-Ing. Bodo Urban, *Fraunhofer IGD*

Dr.-Ing. Egmont Woitzel, *FORTech GmbH*

Grußwort

Hans-Joachim Otto MdB
Parlamentarischer Staatssekretär
beim Bundesministerium für Wirtschaft
und Technologie und Koordinator
der Bundesregierung für die maritime Wirtschaft



Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

die Go-3D hat sich in der maritimen Branche zum festen Termin entwickelt. Als Koordinator der Bundesregierung für die maritime Wirtschaft freue ich mich, auch in diesem Jahr die Schirmherrschaft über diese innovative Konferenz und Fachausstellung zu übernehmen.

Der Schiffbau ist Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Kreuzfahrtschiffe, Spezialschiffe für Offshore Anwendungen, Yachten und Marineschiffe sind anspruchsvolle Spezialprodukte mit einer vergleichbaren Komplexität wie Flugzeuge. Schiffbauer benötigen dafür moderne Entwurfs- und Planungswerkzeuge. 3D-Technologien unterstützen nicht nur Angebots-, Entwurfs- und Planungsphase, sondern ermöglichen gleichzeitig die Aufbereitung vorhandener Konstruktionsdaten zu anschaulichen Bedienungs-, Montage- oder Wartungsanleitungen.

Die Verbesserung der Schiffssicherheit sowie die Sicherheit in der Seefahrt insgesamt, sind von hoher Bedeutung für die Maritime Wirtschaft. Simulation und Visualisierung unterstützt Trainingsszenarien von Bedienung bis zu Wartung oder Unfallmanagement. Bei der Schulung von Schiffsbesatzungen ist eine umfassende realitätsnahe und einsatzbezogene Ausbildung unverzichtbar. Mit simuliertem Teamtraining lassen sich realitätsnahe Einsätze durchspielen. Dies ist sogar schon möglich, bevor das eigentliche Schiff vom Stapel läuft und bietet so

die Möglichkeit, menschliches Verhalten bereits in den Planungsprozess eines Schiffes einzubringen.

Ein weiterer Themenkomplex, der in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen hat, ist die 3D-Erfassung von Objekten mit Hilfe von optischen Verfahren wie Fotografieren oder Laserscannen. Mit Hilfe von 3D-Bildverarbeitung kann die Dokumentation oder Qualitätskontrolle optimiert und automatisiert werden. Eine kostengünstige Alternative zu bisherigen Verfahren ist die Rekonstruktion von dreidimensionalen Gegenständen aus Fotografien.

Die Zukunft der maritimen Wirtschaft hängt entscheidend von Investitionen in Forschung und Entwicklung, Ausbildung und Qualifizierung ab. Deshalb werden wir auch weiterhin diese wichtige Basis für künftige Wettbewerbsfähigkeit fördern.

Ich wünsche Ihnen inspirierende Vorträge, anregende Gespräche und interessante Exponate. Der Go-3D 2013 gutes Gelingen und viel Erfolg!

A handwritten signature in black ink, reading "Hans-Joachim Otto". The signature is written in a cursive style with a long horizontal stroke at the end.

Ihr Hans-Joachim Otto

Inhaltsverzeichnis

Keynotes

- 3D-Formsensor – Skalierbares System
zur silhouettenbasierten Formprüfung..... 3**
*Frank Papenfuß, Egmont Woitzel, Hans-Stefan Wilm,
Michael Bahlke*
- 3D in Visualisierung und Simulation
für interaktives Training 19**
Klaus-Gunter Mehlhorn
- Marktperspektiven von 3D-Anwendungen
in der maritimen Industrie..... 21**
Michael Jarowinsky, Uwe Freiherr von Lukas
- Computer Vision für Alle: 3D-Rekonstruktion
auf dem Handy und aus Internetdaten 37**
Michael Goesele

3D-Anwendungen

- Automatische Bestimmung von Ausbaupfaden
unter Berücksichtigung von Kostenaspekten 41**
Johanna Frank, Benjamin Mesing, Uwe von Lukas
- Simulation automatisierter Verpackungsprozesse
für eine mobile Virtual Reality-Präsentation 55**
*Jürgen Roßmann, Roland Wischnewski, Stephan Hüwel,
Mario Gerber*
- WorldInsight, das Visualisierungstool der Deutschen Bahn..... 67**
Kim Jung

Virtuelle Trainingsumgebungen

**Simulationsbasiertes Teamtraining für maritime Sicherheit –
Was kommt nach der dritten Dimension? 81**

*Michael Baldauf, Jens-Uwe Schröder-Hinrichs, Gerrit Tuschling,
Knud Benedict*

**Eine virtuelle Multi-User Trainingsumgebung
für die Feuerwehrausbildung 97**

Frank Poschner, Dieter Wloka

Effiziente Erstellung maritimer 3D-Applikationen

Nutzung der VR-Dokumentation für Augmented Reality 113

Axel Friedewald, Martin Heinig

**Framework zur Erzeugung interaktiver 3D-Meeresmodelle
mit Web3D-Technologien 127**

Thomas Ruth, Stefan Audersch

3D-Erfassung

**Untersuchung von Low-Cost-Digitalisierungssystemen
für industrielle Anwendungen 143**

Lisa Knaack, Michael Geist

**4D Planning: create, validate and display an assembly
sequence in 3D – complemented by recording of the as-built... 157**

Matthias Roth, Claire Bouvet

Keynotes

3D-Formsensor – Skalierbares System zur silhouettenbasierten Formprüfung

Dr.-Ing. Frank Papenfuß¹, Dr.-Ing. Egmont Woitzel¹,
Dr.-Ing. H. Stefan Wilm², Michael Bahlke²

¹FORTech Software GmbH
Bergstraße 10
18057 Rostock, Deutschland
frank.papenfuss@fortech.de
egmont.woitzel@fortech.de

²IFQ GmbH Wismar
Alter Holzhafen 17a
23966 Wismar, Deutschland
dr.wilm@ifq.de
bahlke@ifq.de

Abstract: Der 3D-Formsensor detektiert berührungslos Formfehler star-
rer Kleinteile. Zur Vorbereitung der Prüfung wird ein Referenzmodell di-
rekt aus den Konstruktionsdaten berechnet. Der Sensor kann z. B. in der
Spritzgussfertigung zur Erkennung von Herstellungsfehlern verwendet
werden.

1 Motivation

Kunststoffteile werden auf modernen Spritzgussmaschinen mit Schließkräften von 20 bis 800 Tonnen und Schussgewichten bis zu 2500 Gramm typischer Weise in großen Serien hergestellt. Dazu wird mit einer Spritzgussmaschine der jeweilige Werkstoff, meist Kunststoff, in einer Spritzeinheit plastifiziert und in ein Spritzgusswerkzeug eingespritzt. Der Hohlraum des Werkzeugs bestimmt die Form und die Oberflächenstruktur des fertigen Teils. Es sind heute Teile von

wenigen Zehntelgramm bis in den zweistelligen Kilogramm Bereich herstellbar. Mit dem Spritzgießen lassen sich Massenprodukte in kurzer Zeit herstellen. Dabei kann die Oberfläche des Bauteiles nahezu frei gewählt werden (Abbildung 1). Glatte Oberflächen für optische Anwendungen, Narbungen für berührungsfreundliche Bereiche, Muster und Gravuren lassen sich herstellen.

Besonders in der Automobilindustrie aber auch im allgemeinen Maschinenbau werden hohe Anforderungen an Formtreue und Oberflächenbeschaffenheit gestellt. Die Qualitätssicherung erfolgt prozessbegleitend durch den Mustervergleich. Dazu werden dem Bedienpersonal gekennzeichnete Gut- und Schlechteile bereitgestellt. Die Bemusterung erfolgt manuell.

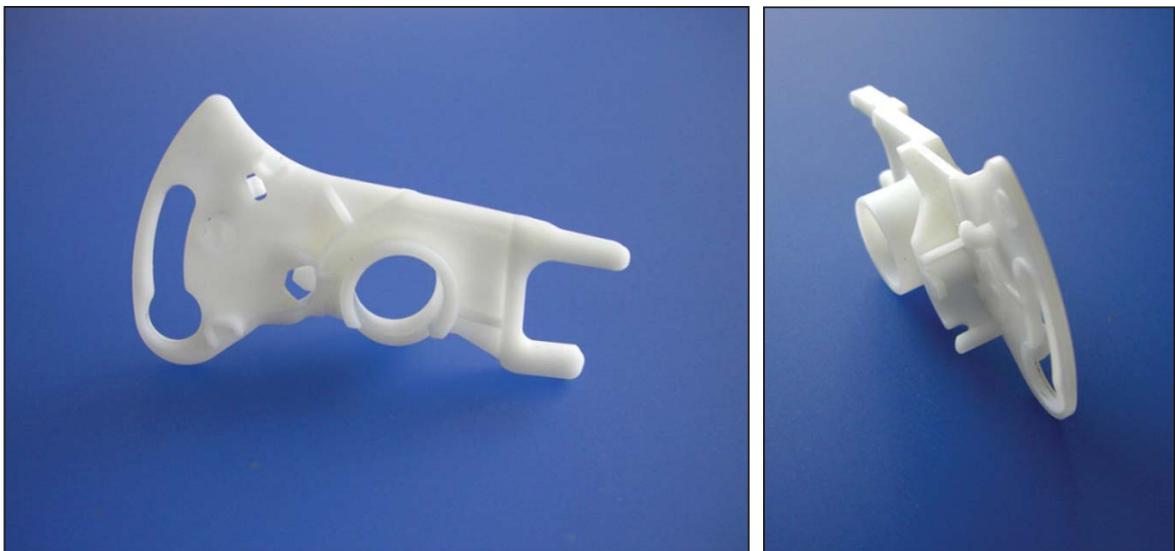


Abbildung 1: Beispiel eines Bauteils der Spritzgussfertigung.

Neben der begleitenden Bemusterung werden auch Prozessfreigaben und Stichproben aufwendig mit konventionellen Messmitteln durchgeführt. Bei Fehlertoleranzen von wenigen ppm, beispielsweise in der Automobilindustrie, erfolgt eine manuelle 100 %-Sichtkontrolle. Jedes Teil wird von Hand hinsichtlich möglicher Fehlerbilder geprüft und sortiert. Durch die hohen Stückzahlen sind hier Personen ganztägig beschäftigt.

Eine automatisierte Prüfung, geeignet für Teile in unterschiedlicher Form und Farbe, mit hohem Mengendurchsatz bildet für diesen Fertigungsbereich eine sinnvolle technische Lösung und ist Motivation für die im Folgenden vorgestellte Technologie des 3D-Formsensors.

1.1 Verwandte Arbeiten

Zur automatisierten Prüfung von automatisch gefertigten Leichtmetallgussteilen gibt es Lösungen. So hat z. B. das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen ein System (CapaCam) entwickelt hat, welches komplexe Gussteile automatisiert auf Lunker prüfen kann. In Zusammenarbeit mit Stemmer Imaging ist dieses System bei der Daimler AG zum Einsatz in der Produktion gebracht worden [Fr03, St09]. Für das System ist eine Zuführung der Teile in einer Vorzugsrichtung (eingespannt in Halterung) vorgesehen. Der Arbeitstakt beträgt mehrere Sekunden. Das Prüfsystem ist so groß, dass es mehrere Teile an unterschiedlichen Zwischenstationen zugleich prüft. Die Prüfteile werden mit Linienkameras gescannt. Hochauflösende Kameras mit Weitwinkelobjektiven oder ggf. Endoskopkameras werden für die Inspektion der Bohrlöcher eingesetzt. Die Prüfung der Form spielt eine untergeordnete Rolle. Bei der Fertigung von Plastikspritzgussteilen hat man das Problem der Lunker jedoch nicht, vielmehr treten hier gehäuft Fehler wie leichte Verformung des Teils nach Entnahme aus der Form (zu heiß), überstehendes Material (zu hohe Schusskraft oder zu geringer Pressdruck der Form, Abnutzung der Form etc.) bzw. fehlendes Material bei zu wenig Einschuss auf.

In [Vc05] wird ein System der Visicontrol GmbH vorgestellt, dass ebenfalls zur Prüfung von Leichtmetallgussteilen eingesetzt wird. Hier müssen die Teile noch manuell in eine Prüfvorrichtung gelegt werden. Die Prüfung selbst erfolgt jedoch bereits automatisiert über Bildverarbeitungsalgorithmen. Für den Einsatz in der Prüfung von Spritzgussteilen ist der Grad der Automatisierung wegen der manuellen Zuführung jedoch noch zu gering und auch die Taktzeit von einigen Sekunden ist zu hoch, ähnlich dem oben beschriebenen System des Fraunhofer IIS.

Häufig findet man bei der Formprüfung auch den Einsatz von Linienlasern in Zusammenhang mit hochauflösenden Kameras [Ph13]. Solche Systeme, obgleich bereits der Bildauswertung beschleunigt durch in die Kamera integrierte FPGAs, benötigen wie das CapaCam System mehrere Sekunden allein durch den Scanvorgang selbst. Die erreichbare Genauigkeit des ermittelten Höhenprofils ist dafür dann auch sehr hoch (Mikrometerbereich). Bei den Technologieversuchen zur Realisierung des 3D-Formsensors hat sich jedoch herausgestellt, dass das für den Spritzguss verwendete Plastikmaterial die Verwendung von Laserlicht oder anderer Projektortechnik zur Projektion von Mustern für die 3D-Punktwolken-

gewinnung nicht zielführend ist. Das projizierte Licht drang in das Plastikmaterial ein und trat diffus wieder aus der Oberfläche aus. Scharfe Kanten, mit denen eine genaue Triangulation auf Basis von Stereometrie gelingt, waren nicht möglich. Daher wurde schließlich eine Analyse der Bauteilsilhouette zur Formprüfung favorisiert.

Das Bayrische Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. hat ein Erhitzungsmikroskop entwickelt, welches mittels Silhouettenanalyse eine Beobachtung des Verformungsprozesses einer Probe bei der Erhitzung möglich macht [Vi07]. Auch dieser Lösungsansatz kann nicht eins zu eins für die Prüfung kleiner Plastikspritzgussteile verwendet werden. Das beobachtete Teil liegt ruhig im Ofen auf einer Ablage und kann seitlich durch ein Fenster im Ofen bequem betrachtet werden. Belichtungszeiten sind kein Problem da die zu beobachtenden Verformungsprozesse eher langsam ablaufen.

Diese Zusammenstellung existierender Lösungen zur Gussteilinspektion macht deutlich, dass für die spezielle Aufgabenstellung der Inspektion kleiner, komplexer Teile ein neuer Ansatz gefragt ist, der durchaus Aspekte vorhandener Techniken nutzt, jedoch gerade unter den speziellen Bedingungen einer Taktzeit von einer Sekunde und der Notwendigkeit nicht nur aus einer Vorzugsrichtung auf das Teil schauen zu können, bestehen muss. Daraus ergeben sich die wesentlichen Motivationsaspekte der hier vorgestellten Sensorlösung.

2 Systembeschreibung

2.1 Mechanischer Aufbau

Wie Abbildung 2 zeigt, erfolgt eine Zuführung der Teile bzw. der Prüflinge durch eine spezifische Vereinzlungseinheit (A). Die vereinzeln Teile fallen durch ein Einlassegment (B), dass durch eine Lichtschranke die Zuführung registriert. Der Prüfling fällt im freien Fall in das Messsegment (C).

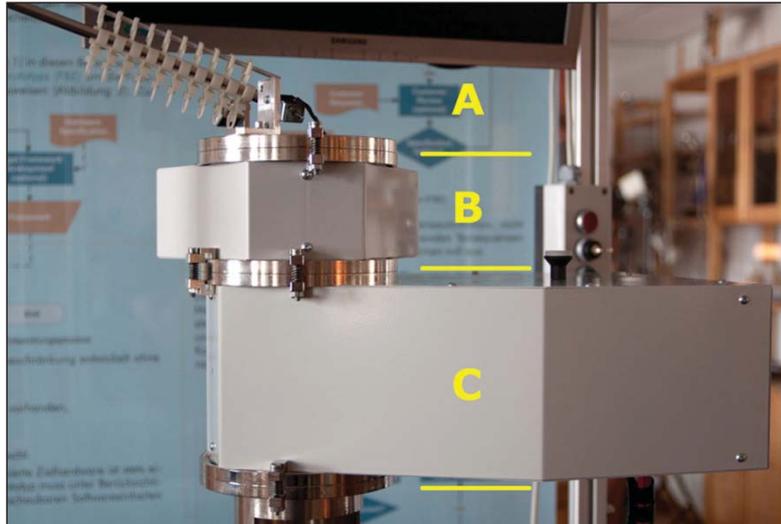


Abbildung 2: Mechanischer Aufbau mit Zuführung (A), Einlass- (B) und Messsegment (C).
Das Messsegment kann mehrfach gestapelt werden.

Dort erfolgt während einer Kurzzeitbelichtung (μs) eine synchrone Bildaufnahme durch zwei Kameras. Die in Abbildung 2 und Abbildung 3 gezeigte Hardware realisiert die Ausprägung des 3D-Formsensors im Auflichtfall. Das bedeutet, der Prüfling wird während des Fallens aus Richtung der Kameras beleuchtet. Bei Prüflingen mit komplexen Formen führt die Verwendung von Auflicht zu Eigenabschattungen (siehe Abschnitt 3). Alternativ können die Silhouetten auch unter Einsatz einer Durchlichtanordnung bestimmt werden. Dabei wird gegenüber jeder Kamera jeweils ein Flächenblitzlicht angeordnet. Der Prüfling befindet sich während der Aufnahme zwischen Blitz und der entsprechenden Kamera. Beide Blitze werden synchron durch das gleiche Trigger-Signal ausgelöst. In Abbildung 4 wird dieser Systemaufbau gezeigt.



Abbildung 3: Messsegment in Auflichtausführung

Durch eine nachgeschaltete Sortiereinrichtung werden die Prüflinge als gute oder schlechte Teile sortiert. Für den Fall, dass keine Entscheidung möglich ist, muss der Prüfling dem Formsensor erneut zugeführt werden. Die entsprechenden Sortiersignale werden durch die Software generiert. Ist der Sensor parametrisiert, kann eine quasi-kontinuierliche Bauteilinspektion gestartet werden. Es werden Taktzeiten unterhalb einer Sekunde erreicht.

2.2 Softwaresystem

Abbildung 5 gibt einen Überblick über die wesentlichen Verarbeitungsschritte im Softwaresystem des 3D-Formsensors.

Vor der Inspektion einer Produktionscharge muss in einem einmaligen Vorbereitungsschritt aus der CAD-Referenzgeometrie des Bauteils, die als STL-Datei erwartet wird, eine Posen-Datenbank generiert werden. Für diesen Schritt wird der sogenannte ModelConverter bereitgehalten. Dieser rechenintensive Schritt kann je nach Komplexität des Bauteils und CPU- bzw. Grafikleistung des Rechners 30 Minuten bis zu mehreren Stunden in Anspruch nehmen.

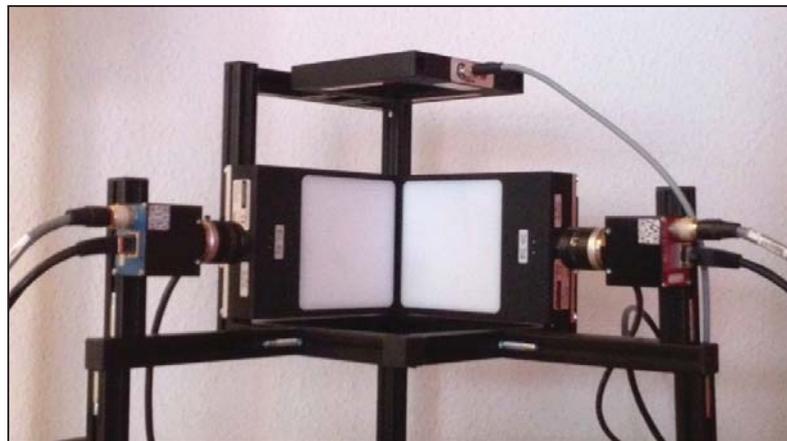


Abbildung 4: Experimenteller Hardwareaufbau für den Durchlichtfall. Die Prüfteilzuführung erfolgt in diesem Falle manuell und wird auch hier durch eine Lichtschranke detektiert.

Für jedes Messsegment sind die intrinsischen Kalibrierungen der Kameras und die Stereokalibrierung zwischen ihnen zu ermitteln (Abbildung 2 und Abbildung 4 zeigen jeweils ein Messsegment). Die Präzision der Kalibrierung hat unmittelbaren Einfluss auf die erzielbare Messgenauigkeit. Nach einem detektierten Fallereignis gelangen die Bilder von den GigE-Kameras nacheinander in

das angeschlossene PC-System. Eine Übertragung der Bilder nacheinander ist nötig, um bei einem voll ausgebildetem Sensor in vier Sensor-Ebenen von bis zu acht Kameras Bilddaten über eine Ethernet-Verbindung ohne Paketkollision aufnehmen zu können. Eine für den Bildeinzug zuständige Softwarekomponente programmiert die Kameras entsprechend.

3 Ausgewählte Probleme

Bei der Realisierung der Elemente der Bildverarbeitungskette des Sensors mussten eine Reihe von Problemen gelöst werden, von denen in diesem Abschnitt eine Auswahl präsentiert werden soll.

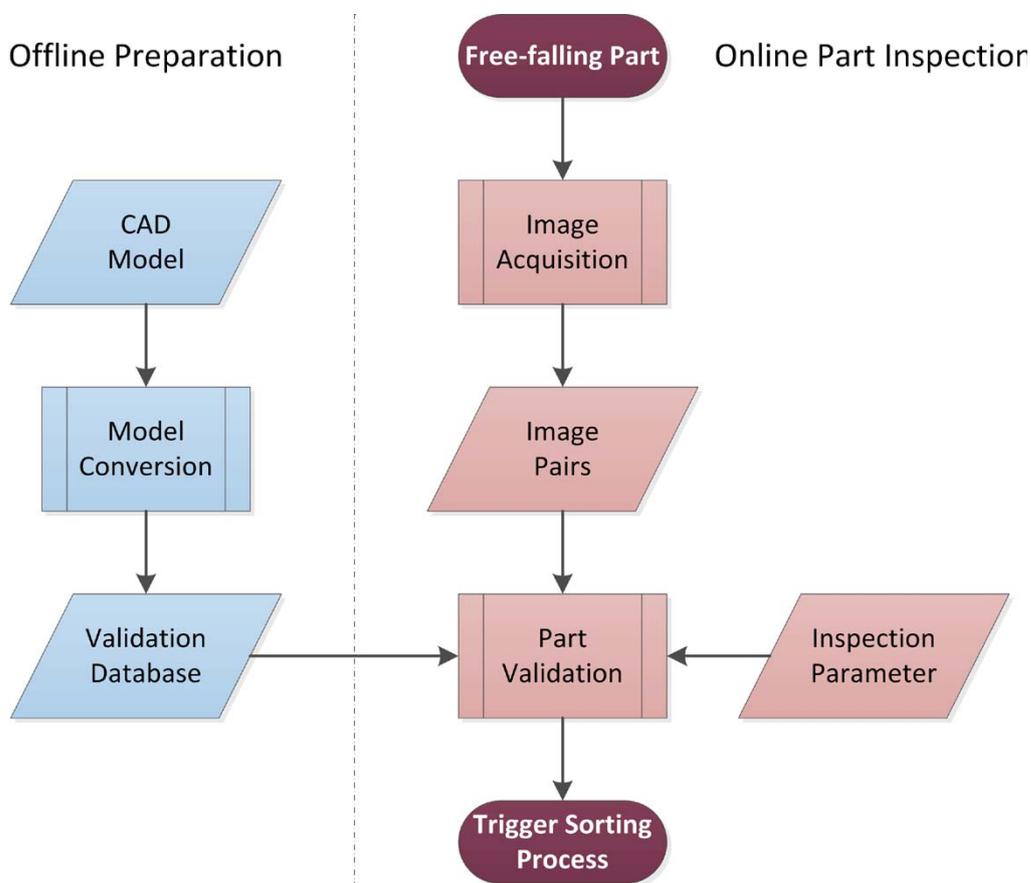


Abbildung 5: Überblick über die Verarbeitungsschritte des 3D-Formsensors.

3.1 Erstellung der Posen-Datenbank

Zur schnellen Ermittlung einer groben Posen-Schätzung während der Online-Verarbeitung muss eine Datenbank vorberechneter Posen erstellt werden. Dies

führen wir durch ein separates Werkzeug, den ModelConverter, in einem vorgelegerten Offline-Schritt durch. Der ModelConverter rendert dabei das Bauteil in einer vorgegebenen Pose unter Nutzung der Grafikkarte. Das Bauteil wird an fixer Position in festen Raumwinkelschritten um einen geschätzten Massenschwerpunkt gedreht, um unterschiedliche Orientierungen zu erhalten. Durch geeignete Wahl der Beleuchtungsverhältnisse erhält man unmittelbar binarisierte Bilder. Das kleinstmögliche die Bauteilsilhouette umschließende Quadrat wird neu abgetastet. So entsteht ein Bild mit 64x64 Pixeln das sich als 4096-dimensionaler Merkmalsvektor auffassen lässt. Die Merkmalsvektoren werden einer Hauptkomponentenanalyse (engl. Principle Component Analysis – PCA) zugeführt. Durch Reduktion auf die wichtigsten Komponenten kann eine Transformationsmatrix gebildet werden, mit der eine Kompaktierung des Merkmalvektors in einen niederdimensionalen Unterraum durchgeführt werden kann. Das Verfahren ist ausführlich in [Az09] und [MN93] beschrieben. Die Posen-Datenbank enthält am Ende dieses Schrittes die Matrix zur Komponentenreduktion und einen Satz an Merkmalsvektoren des niederdimensionalen Raumes mit zugehörigen Posen. Die Datenbank des in Abbildung 6 dargestellten Teils enthält beispielsweise ca. 191.000 Posen. Zur Problematik des schnellen Nachschlagens in dieser Datenbank finden sich in Abschnitt 3.3 nähere Erläuterungen.

3.2 Bilderfassung

Durch Eigenabschattung eines Bauteils kann es vorkommen, dass bestimmte Regionen sehr stark abgedunkelt werden und bei der Binarisierung fälschlicherweise nicht miterfasst werden. Diese Abschnitte fehlen dann in der Silhouette und werden vom System irrtümlich als fehlendes Material interpretiert. Ein Beispiel ist in Abbildung 6 zu sehen.



Abbildung 6: Linkes und rechtes Bild eines Datensatzes, in dem die Eigenabschattung des Prüflings irrtümlich fehlendes Material (blau) suggeriert.

Abhilfe können hier weitere Flächenlichter schaffen, die den Prüfling homogener ausleuchten. Der Einbau von zusätzlichem Licht gestaltet sich im Auflichtprototyp (Abbildung 2) jedoch schwierig, da der Platz innerhalb des Messsegmentes konstruktionsbedingt begrenzt ist.

Im Durchlichtfall (Abbildung 4) treten diese Probleme nicht auf. Für diffus reflektierende Teile wurde so das Abschattungsproblem effektiv gelöst (siehe Abbildung 7). Problematisch blieben glatte Plastikteile, die einen hohen Grad an gerichteter Reflektion aufweisen (z. B. LEGO). Eine Lösung erwarten wir an dieser Stelle durch den Einsatz von Polfiltern vor Kamera und Licht. Tests mit Polfiltern stehen jedoch zurzeit noch aus.

Der Binarisierungsschwellwert ist ein kritischer Systemparameter der gegenwärtig anhand der beobachteten Histogrammdaten während der Setupphase des Sensors manuell eingestellt wird. Für eine optimale Leistung des Sensors muss dieser Wert jedoch dynamisch für jedes Bild berechnet werden. Ein robustes dynamisches Kriterium können wir gegenwärtig für den Auflichtfall anbieten. Das Binarisierungsmodul liefert durch entsprechende Parametrisierung sowohl im Auflicht als auch im Durchlichtfall ein binarisiertes Bild in der Form einer weißen Silhouette auf schwarzem Grund. Daher sind die nachfolgenden Schritte des Verfahrens von der Lichtsituation bei der Bildaufnahme unabhängig.

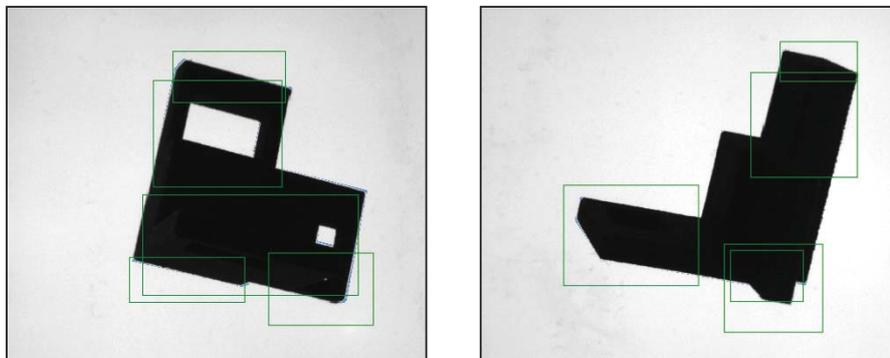


Abbildung 7: In 3D-Drucktechnik selbst gefertigtes Plastikteil, aufgenommen im Durchlichtverfahren, Oberfläche diffus reflektierend. Die grünen Rechtecke markieren die in die jeweiligen Bilder transformierten Volumen von besonderem Interesse (engl. Volumes of Interest – VOI). Es sind die umschließenden Rechtecke.

3.3 Bestimmung Objektpose

Nachdem die binarisierten Bilder in der Verarbeitungskette ermittelt worden sind, erfolgt eine schnelle Schätzung der Pose anhand der beobachteten Silhouette in linkem und rechtem Bild separat. Hierzu wird die Posen-Datenbank benötigt, die in der Vorbereitungsphase vorberechnet wurden (Abbildung 5, links). Genau wie bei der Erstellung der Datenbank wird ein 4096-dimensionaler Rohvektor ermittelt und durch die in der PCA ermittelte Transformationsmatrix in einen kompakten Merkmalsraum transformiert. Es folgt eine Abstands-berechnung zum Vektor mit dem geringsten Euklidischen Abstand, wobei die Relevanz der Komponenten, gewichtet nach den Beträgen der zugehörigen Eigenwerte, berücksichtigt wird. Das Verfahren ist ausführlich in [NN97] beschrieben. Da jeder Eintrag der Datenbank einer Pose zugeordnet ist, findet man mit dem Eintrag des geringsten Abstandes zum Eingangs-Merkmalvektor unmittelbar die Startpose. Diese wird in einem Optimierungsschritt unter Verwendung des Downhill-Simplex-Verfahrens (siehe [NM65], [Wi13]) verfeinert. In jeder Iteration der Optimierung wird dabei die aktuelle Schätzung der Pose verwendet, um ein Bild des Prüflings anhand des Drahtmodells aus der STL¹-Beschreibung mit OpenGL zu Rendern. Für das Rendering ist die korrekte Kalibrierung unerlässlich. Die so gefundene Silhouette wird von der aus den Fotos ermittelten Silhouette subtrahiert. Erreicht diese Differenz ein Minimum, ist die Suche beendet. Um den Rechenzeitbedarf zu minimieren, testeten wir die Berechnung des Differenzbildes auf der Grafikkarte unter Verwendung von CUDA. Es zeigte sich jedoch leider, dass der Zeitbedarf für die Synchronisation zwischen CUDA und OpenGL durch die Gewinne von Parallelisierung und reduzierter benötigter Speicherbandbreite nicht ausgeglichen werden konnte. Wir haben daher den Ansatz mit CUDA für den Optimierungsschritt nicht weiter verfolgt. Eine OpenGL-Implementierung auf Basis von Pixel-Shadern oder der Einsatz eines CUDA-basierten Renderers könnte eine Verbesserung bringen.

3.4 Bauteil-Fehlerermittlung

Ist die Endpose ermittelt, liegt ein sogenanntes Fehlerbild vor (Abbildung 8, rechts). Fehlendes Material wird blau dargestellt. Zur Abschätzung des Fehlervolumens wird das CAD-Modell voxelisiert². In einem Ray-Casting-Verfahren werden die Voxel, die auf dem Strahl vom Brennpunkt der Kamera durch den gerade be-

¹ STL – Standard Tessellation Language, eine Beschreibung der Geometrie anhand von Dreiecken

² Das Volumen des Bauteils wird durch kleine Würfel, die Voxel, zusammengesetzt.

trachteten Pixel liegen und zum Modell gehören genau dann zusammengezählt, wenn der betrachtete Pixel fehlendes Volumen (blau) signalisiert. So erhält man eine Fehlolumenschätzung. Diese wird für das gesamte Teil und für jedes VOI (Abbildung 8, links, gelb dargestellt) extra angegeben. In unserem System verwenden wir Voxel mit Kantenlängen von ca. 0,3 mm Kantenlänge.

Die Schätzung von überstehendem Material ist vergleichsweise schwierig, da hierzu eine Konsolidierung von pessimistischen Schätzungen überstehender Voxel aller Perspektiven stattfinden muss. Die Software des Sensors ermittelt daher gegenwärtig eine Flächenschätzung überstehender Flächen in Pixeln. Dies geschieht für jedes Bild. Hier wird jeweils die Schätzung für das gesamte Teil und die in das Bild projizierten VOIs (Abbildung 8, rechts – grüne Rechtecke) ermittelt.

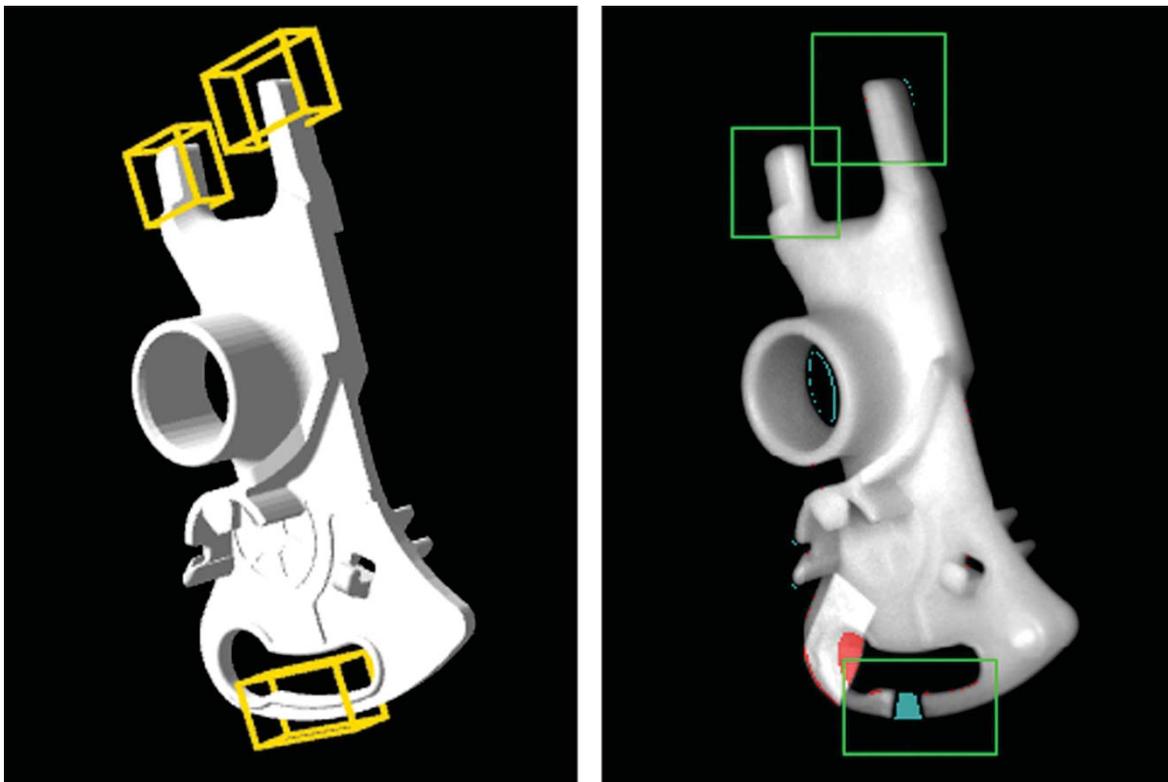


Abbildung 8: Links: CAD-Modell mit definierten Volumen von besonderem Interesse (engl. Volumes of Interest – VOI); Rechts: Fehlerbild mit fehlendem Volumen (blau), Überschusspixeln (rot) und den die ins Bild transformierten VOIs umschließenden Rechtecken (grün).

Für jeden Fehlolumenwert bzw. Wert überschüssiger Fläche nimmt der Sensor Schwellwerte entgegen, die den akzeptablen Bereich für einen fehlerfreien Prüfling beschreiben. Anhand dieser Grenzwerte kann eine Entscheidung, ob Gut-

Teil oder Schlecht-Teil, getroffen werden. In den Fällen, in denen das Teil nicht komplett gesehen wird (Randberührung) oder eine andere Form der Bildstörung vorliegt, wird ein Signal „unsicher“ ausgegeben und der Prüfling muss erneut durch den Sensor geprüft werden.

Mit unserem Prototyp erreichen wir bei Verwendung eines gewöhnlichen PCs und Grafikkarte Taktraten unter einer Sekunde, was nach uns vorliegenden Information für das in Abbildung 8 gezeigte Teil den Echtzeitanforderungen für eine Sichtprüfung entspricht. Der mit Abstand kritischste Verarbeitungsschritt stellt die genaue Bestimmung der Objektpose dar. Das Abbruchkriterium für die Iteration lässt sich konfigurieren, um die Echtzeitfähigkeit des Sensors zu steuern. Beispielsweise lassen sich die maximal zulässige Iterationsanzahl und die geforderte Flachheit des Kurvenverlaufs des Optimierungskriteriums konfigurieren, um ggf. ein schnelleres Iterationsende herbeizuführen.

4 Ausblick

Der hier vorgestellte 3D-Formsensor eignet sich für die Detektion grober Fehler bei Spritzgussfertigung in hohen Stückzahlen. Es erfolgt eine schnelle Prüfung der Teile in Sekundentakt. Gegenüber einer vollständigen 3D-Rekonstruktion des betrachteten Teils, die typischerweise Minuten in Anspruch nehmen würde, hat der Sensor einen klaren Geschwindigkeitsvorteil.

Weiterhin bietet der Sensor ein einfaches Handling der Prüflinge an, da diese lediglich kontrolliert in den Sensor hineinfallen müssen (keine Positionierung, kein Manipulator nötig). Dadurch wird eine effiziente Umrüstung des Sensors für ein neues Teil möglich. Lediglich ein vorberechnetes neues Modell muss geladen werden. Dies ist in Sekunden erledigt. Die Modellkonvertierung kann vorher offline geschehen. Gegebenenfalls ist noch eine Umrüstung der Einzelungsstrecke vorzusehen. In zukünftige Entwicklungen könnten mehr als zwei optische Achsen in einem Messsegment vereint werden, z. B. drei Durchlichtelemente anstatt zwei.

Symmetrien in Prüflingen treten häufig auf. Die Abbildung einer bestimmten Pose auf eine Silhouette ist in diesem Fall zwar eindeutig. Die Umkehrung, also die Abbildung einer Silhouette auf eine bestimmte Pose, ist es jedoch nicht. Für den Sensor ist das kein Nachteil. Die Menge der in der Posen-Datenbank vor-

handen Posen verringert sich bei Symmetrien sogar. Der Sensor muss lediglich bei Posen, für die keine Ein-Eindeutigkeit gegeben ist, unter Berücksichtigung der Stereokalibrierung die dazugehörige Pose im jeweils anderen Kamera-Koordinatensystem vorberechnen. Der gegenwärtige Sensorprototyp berücksichtigt dies noch nicht.

Der Ansatz des Lookups der Startposen in einer Datenbank kann neben der Ermittlung der Posen für nur ein Teil auch eine Klassifikation verschiedener Teile gegeneinander vorsehen. Dabei muss der Vorberechnungsschritt statt aus einem CAD-Modell mit den Modellen aller zu unterscheidenden Teile parametrisiert werden. Diese werden dann in einem Super-Klassifikator gemeinsam in eine Datenbank geschrieben. Denkbar erscheint auch, das Aufflichtverfahren um einen Projektor für strukturiertes Licht anzureichern. Nachdem in einem ersten Schritt die Pose bestimmt worden ist, können die projizierten Muster nachgelagert für die Bestimmung von 3D-Information herangezogen werden, die nicht durch Analyse der Silhouette gewonnen werden kann. So kann eine robustere Schätzung überstehenden Volumens gelingen.

Alternative Applikationen für die Algorithmen zur Posenschätzung sehen wir in der Verbesserung systematischer Fehler durch mechanische Toleranzen in Positioniersystemen. Weiterhin können die Algorithmen in Kombination mit anderen Verfahren zur Objekterkennung in AR-Szenarien z. B. in der maritimen Industrie (Retrofit – Lageerkennung verbauter Aggregate) eingesetzt werden.

Literatur

- [MN93] Murase, H.; Nayar, S. K.: Learning and Recognition of 3D Objects from Appearance, Proceedings of IEEE Workshop on Qualitative Vision, 1993, ISBN 0-8186-3692-0, S.39-50
- [NN97] Nene, S. A.; Nayar, S. K.: A Simple Algorithm for Nearest Neighbor Search in High Dimensions, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No.9, September 1997
- [Az09] Azad, P.: Visual Perception for Manipulation and Imitation in Humanoid Robots, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, ISBN: 978-3-642-04228-7.
- [NM65] Nelder, J. A.; Mead, R.: A simplex method for function minimization, Computer Journal, 1965, 7, S.308-313
- [Wi13] Wikipedia: Downhill-Simplex-Verfahren, <http://de.wikipedia.org/wiki/Downhill-Simplex-Verfahren>, 15. März 2013
- [Vi07] S. Vidi: Erhitzungsmikroskop, <http://www.zae.uni-wuerzburg.de/files/ehmk.pdf>, 04. April 2007
- [Fr03] Fraunhofer IIS, Kombinierte Oberflächen- und Formprüfung von bearbeiteten Gussteilen CapaCam, Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen, <http://www.vision.fraunhofer.de/de/presse/36.html>, Mai 2003
- [St09] Stemmer Imaging GmbH, Schnelle Oberflächenprüfung komplexer Gussteile, <ftp://ftp.stemmer-imaging.com/websites/documents/applications/de-Application-FhG-Daimler-200901.pdf>, Januar 2009
- [Ph13] Photonfocus, CMOS 3D camera for Laser triangulation applications, <http://www.photonfocus.com/html/eng/products/products.php?prodId=103>, Photonfocus AG, Lachen, Schweiz, Stand 02. Juni 2013

[Vc05] Visicontrol, Zuverlässiger, schneller, günstiger – BV basierte Handmessplätze beflügeln die 100%-Kontrolle anspruchsvoller Alu-Guss-Teile, Quality Engineering, Visicontrol GmbH, Weingarten, 4/2005 S.38-40

3D in Visualisierung und Simulation für interaktives Training

Klaus-Gunter Mehlhorn

Rheinmetall Defence Electronics GmbH

Brüggeweg 54

28309 Bremen, Deutschland

klaus-gunter.mehlhorn@rheinmetall.com

Abstract: Der Einsatz von 3D-Visualisierung und Simulation hat sich in allen Bereichen der Lehre, der Aus- und Weiterbildung erfolgreich etabliert. So stellen sich für einen Hersteller von simulationsbasierten interaktiven Ausbildungssystemen neben der Frage der technologischen Machbarkeit zunehmend Fragen der Wirtschaftlichkeit und des tatsächlichen Ausbildungsnutzens beim Einsatz von 3D-Visualisierung.

Nahezu alle Trainingssimulatoren zur Ausbildung von Fahrzeugführern in jeglichen Anwendungsbereichen – zu Wasser, Land & Luft – benötigen eine Visualisierung ihrer virtuellen Trainingsumgebung, die dem Trainee eine realistische Einschätzung der Trainingssituation ermöglicht. In den letzten Dekaden war dies die Domäne der Image Generator Hersteller, die mit spezieller Grafik-Hardware Entwicklung auf riesigen „Kuchenblechen“ schwergewichtige Maßstäbe setzten. In den letzten 10 Jahren haben hier zwei gravierende Umwälzungen stattgefunden. Zum einen haben die COTS-Grafikkarten die HW-Boliden abgelöst, bei einer wahren Explosion der Leistungsdaten. Dabei haben die Computer Games für den nötigen Massenabsatz an Grafikkarten gesorgt, so dass diese Leistung für quasi jeden erschwinglich geworden ist. Dazu hat die Game Industrie durch die Basistechnologie der Game Engines eine Middleware geschaffen, die sich auch außerhalb der Game Branche nutzen lässt. Im Rahmen dieser Keynote wird die Migration der Game Engines in die Welt der Sichtsysteme für interaktive Simulatoren beleuchtet werden. Dabei gibt es Licht und Schatten (im engeren Sinne ohnehin die spannendsten Themen der Visualisierung). In einigen Bereichen gibt es einen Clash-of-Cultures, wo sich

beide Seiten (Gamer und Simulanten) erst einmal verstehen müssen, um zu einer Chance auf ein gemeinsames Produkt zu kommen.

Um ein „What you see is NOT what you get“ zu vermeiden, müssen Entwicklungsabläufe, Marktverständnis, Simulationstiefe etc. aufeinander abgestimmt werden. Ein Feature einer Game Engine ist erst dann ein Feature eines Simulators, wenn es im kompletten Umfeld des Simulationsdatenmodells ablauffähig ist und dem Ausbildungsziel zuträglich ist. Dies ist in vielen Fällen kein Selbstgänger und für beide Seiten harte Arbeit. Die Chance jedoch ist, interaktives Training mit anspruchsvollster Visualisierungsqualität zu attraktiven Preisen bereitstellen zu können.

Marktperspektiven von 3D-Anwendungen in der maritimen Industrie

Michael Jarowinsky¹, Uwe Freiherr von Lukas²

¹MC Marketing Consulting
Rödingsmarkt 39
20459 Hamburg, Deutschland
jarowinsky@jarowinsky-marketing.de

²Abteilung Maritime Graphics
Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung
Joachim-Jungius-Str. 11
18059 Rostock, Deutschland
uwe.von.lukas@igd-r.fraunhofer.de

Abstract: Der Beitrag basiert auf einer Studie der Autoren zu Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen. Die wesentlichen Ergebnisse der Studie werden zusammengefasst und in Bezug auf die besonderen Anforderungen der maritimen Branche diskutiert.

1 Einführung

Die 3D-Technologie hat in den vergangenen Jahren in Kinos, Wohnzimmern und Kinderzimmern Einzug gehalten. Durch diesen Massenmarkt haben Hard- und Softwaresysteme zur Verarbeitung und Anzeige von 3D-Daten einen enormen Schub erhalten.

Vor dem Hintergrund dieser dynamischen technischen Entwicklung hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) ein Konsortium, bestehend aus der Prognos AG, dem Fraunhofer-Institut für Graphische Daten-

verarbeitung (IGD) sowie MC Marketing Consulting, mit der Durchführung der Studie „Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen“ beauftragt³.

Die Studie wurde Ende 2012 abgeschlossen. Ziele der Studie waren eine Bestandsaufnahme sowie die Erstellung einer belastbaren Prospektion der Markt- und Technologieentwicklungen in dem umrissenen Feld. Vor einem Prognosehorizont bis zum Jahr 2020 wurden die wichtigsten technischen und ökonomischen Trends für industrielle Anwendungen von 3D-Technologien erfasst und dokumentiert. Der Beitrag fasst die wesentlichen Punkte der Studie zusammen und stellt sie in den Kontext der spezifischen Anwendungen und Anforderungen der maritimen Branche

2 Grundlagen

Die 3D-Technologien bilden die Basis für die Entwicklung unterschiedlicher Produkte. Sie umfassen sowohl Hardware als auch Software und Verfahren. Zur Strukturierung der vielfältigen Technologien wird ein allgemeiner Prozess für den Umgang mit 3D-Daten und 3D-Modellen zugrunde gelegt, beschrieben in der 3D-Prozesskette (siehe Abbildung 1). Diese gilt grundsätzlich für alle 3D-Anwendungen – also auch im Bereich der maritimen Industrie.



Abbildung 1: Die 3D-Prozesskette

2.1 Aufnahme der Daten

Die Aufnahme der Daten wird auch als Akquisition bezeichnet. 3D-Modelle können grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten erzeugt werden:

³ Komplette Fassung der Studie: http://www.jarowinsky-marketing.de/fileadmin/Downloads/Prognos_IGD_MC_Studie_3D_Maerkte.pdf

- Bei der Vermessung vorhandener Objekte wird die Lage und Größe eines realen Objektes (komplettes Schiff, Bauteil, ...) gemessen. Hilfsmittel dabei sind z. B. optische Kameras (2D- oder 3D-basiert), 3D-Laserscanner oder taktil arbeitende Messsysteme. Das Ergebnis ist in der Regel eine Punktwolke, die dann zu einem Flächenmodell aufbereitet werden muss.
- Bei der manuellen Modellierung mittels Computer Aided Design (CAD) oder vergleichbarer Modellierungsverfahren erstellt der Bearbeiter ein 3D-Modell eines Objekts. Dies kommt üblicherweise für neue Objekte zur Anwendung, die (noch) nicht real existieren.

2.2 Datenaufbereitung

Bei der Aufbereitung werden 3D-Daten umgewandelt, gespeichert und aufbereitet. Dazu gehört z. B. die Überführung von einer Speicherform in eine andere (z. B. Flächenrückführung aus Punktwolken oder Umwandlung von proprietären Datenformaten in neutrale Austauschformate). Weitere Aufbereitungsschritte sind die Bereinigung, Reduzierung oder Vereinfachung von Modellen (z. B. von großen CAD-Modellen für die Verwendung in echtzeitfähigen 3D-Viewern).

2.3 Ausgabe und Interaktion

Die Ausgabe umfasst die Erzeugung einer räumlichen Wahrnehmung für einen Menschen (3D-Visualisierung) oder eines realen dreidimensionalen Objektes. Die räumliche Wahrnehmung des Menschen beruht darauf, dass durch den Abstand der Augen zwei unterschiedliche ebene Bilder vom Gehirn auf der Netzhaut zu einem Bild mit räumlicher Tiefe zusammengesetzt werden. Die Ausgabe von 3D-Modellen ist möglich durch:

- Perspektivische Darstellung (in einem 2D-Bild)
- 3D-Bilder bzw. stereoskopische Darstellung (über Projektionssysteme oder Head Mounted Displays)
- Als physische Objekte mittels Prototyping bzw. 3D-Druck

Die folgende Abbildung 2 zeigt typische 3D-Produktgruppen in den eingeführten Kategorien.

Aufnahme	Datenaufbereitung	Ausgabe / Interaktion
Kameras	Konvertersoftware	Displays
Scanner	Modellierungssoftware/ Authoring-Tools	Projektoren
Weitere Sensorik (elektromagnetisch. akustisch, ...)	Simulationssoftware	Visualisierungssoftware
Auswertungssoftware (Rekonstruktion, Messung, Tracking)	Datenspeicherung und - management (GIS, PDM/PLM, PACS,..)	3D-Drucker
Modellierungssoftware		Simulatoren
		Interaktionsgeräte

Abbildung 2: 3D-Produktgruppen

Diese Produktgruppen bilden einen wichtigen Zwischenschritt bei der Charakterisierung des Marktes. Hierzu mussten statistische Angaben sowie Angaben der Unternehmen zu ihren Produkten abgeglichen und dem Produktbereich „3D“ zugeordnet werden.

3 Charakterisierung des Marktes

Die Untersuchungen zeigen, dass es in Deutschland ca. 1.000 Unternehmen gibt, die 3D-Angebote für die Industrie im Portfolio haben und über die Beschäftigten- bzw. Umsatzzahlen vorliegen. Nicht erfasst sind insbesondere Einzelunternehmen, die überwiegend im Sektor der Dienstleistungen aktiv sind. In einem Bottom Up-Ansatz wurden die jährlichen Umsatzzahlen von 3D-Technologieherstellern und -Dienstleistungsunternehmen bestimmt. Im Jahr 2010 lag das Volumen deutscher 3D-Markttakteure bei rund 8,7 Mrd. Euro Jahresumsatz. Die folgende Abbildung 3 zeigt die Einteilung der deutschen Unternehmen gemäß Mitarbeiterzahl. Die Analyse der Umsatzzahlen führt erwartungsgemäß zu einem sehr ähnlichen Ergebnis.

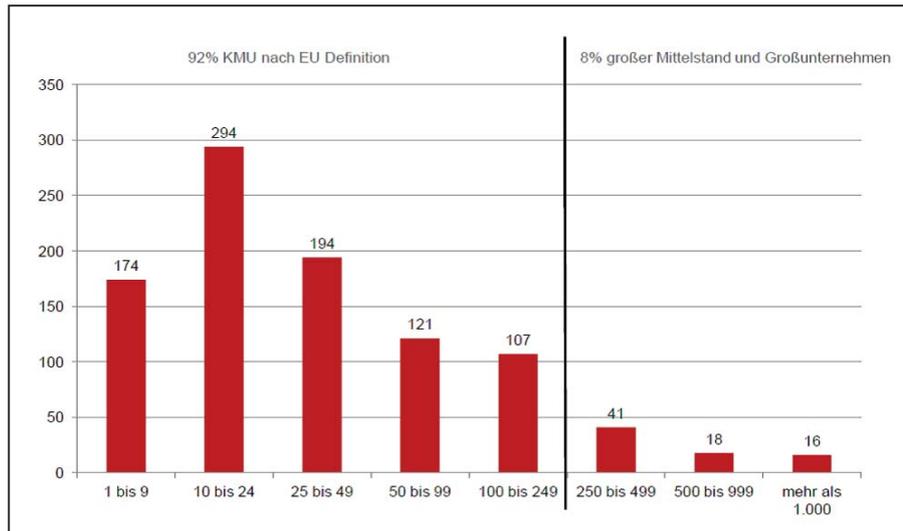


Abbildung 3: 3D-Unternehmen nach Mitarbeitergrößenklassen

Betrachtet man die Art der Angebote (siehe Abbildung 4), wird deutlich, dass ein Großteil der Firmen im Segment der Dienstleistungen aktiv ist. Dabei reicht das Spektrum von Konstruktionsdienstleistern über die 3D-Erfassung mittels Laser-scan bis zur Generierung von Visualisierungen für das Marketing.

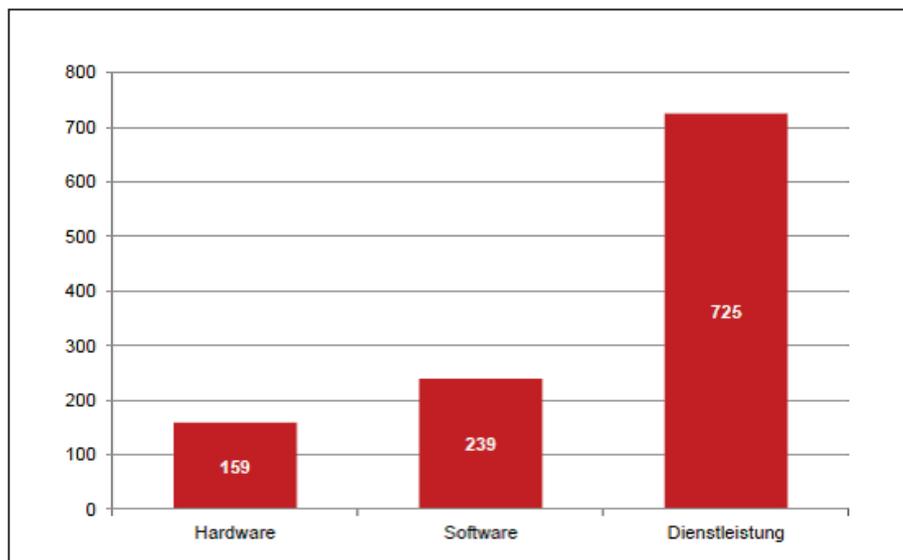


Abbildung 4: Deutsche 3D-Unternehmen nach Produkttyp (Gesamt 975 Unternehmen, Mehrfachnennungen möglich)

4 Ausgewählte 3D-Anwendungen

Die Entwicklung und Produktion komplexer Produkte wie Schiffe oder Offshore-Installationen ist heute ohne den Einsatz von 3D-Techniken nicht mehr denkbar. Und auch in weiteren Phasen des Lebenszyklus kommt 3D heute mehr und mehr zum Einsatz. Die folgende Abbildung skizziert einen typischen Lebenszyklus eines Produkts. In all diesen Phasen sind heute 3D-Lösungen zur Unterstützung der Aufgaben verfügbar.

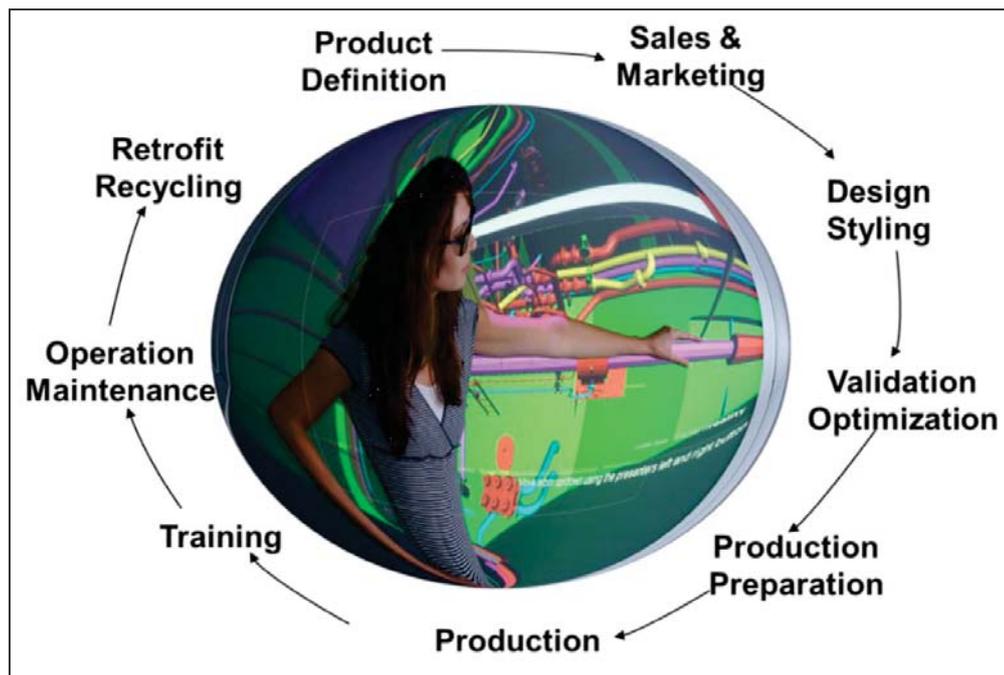


Abbildung 5: Produktlebenszyklus

Die Anwendungsschwerpunkte in der maritimen Industrie liegen heute sicherlich in den Phasen der Konstruktion und Validierung. Alle deutschen Werften setzen hier geeignete 3D-Werkzeuge ein. Computer Aided Design und verschiedene Simulationsverfahren (FEM, CFD) zählen zum täglichen Handwerkszeug in den Entwicklungsabteilungen. Es zeigt sich aber, dass in der durchgängigen Nutzung von 3D im Unternehmen, gerade aber auch über Unternehmensgrenzen hinweg, noch deutliche Defizite bestehen. Neben der Produktentwicklung kommen 3D-Daten zunehmend in der Produktionsvorbereitung bzw. Produktion zum Einsatz – so z. B. beim Einsatz von hoch-automatisierten Verfahren (z. B. Robotik).

Aus der Betrachtung anderer industrieller Branchen rücken weitere Anwendungen in den Fokus, die das Potenzial besitzen, auch in der maritimen Industrie angewendet zu werden.

4.1 Rapid Prototyping

In der Produktion kommen größtenteils klassische Verfahren (Schneiden, Bohren, Fräsen, Schweißen, ...) zum Einsatz, um das mittels CAD geplante Produkt physisch umzusetzen. Für Bewertungsmuster oder aber punktuell auch für Einzelteile oder Kleinstserien werden im Automobil- oder Flugzeugbau heute bereits generative Fertigungsverfahren zur schnellen Bereitstellung solcher Teile eingesetzt. Bei den additiven Verfahren wird ein bestimmter Gegenstand durch das Hinzufügen, Auftragen und Ablagern von verschiedenen Materialien (z. B. Pulver aus Kunststoff, Gips, Harz oder Metall) auf der Basis eines digitalen Modells hergestellt.

Durch den Einsatz metallischer und keramischer Werkstoffe erfüllen die Teile zunehmend auch die Anforderungen an die Funktion und können so direkt in Produkten verbaut werden. Gerade für sehr komplexe Einzelteile, die durch die herkömmlichen Fertigungsverfahren nur sehr aufwendig erstellt werden können, ist dies eine interessante Perspektive, die mit zunehmender Marktdurchdringung auch preisgünstiger wird.

4.2 Optische Verfahren zur 3D-Erfassung

In stark automatisierten Produktionsprozessen werden heute umfassend optische Verfahren zur Qualitätssicherung eingesetzt. Das Spektrum reicht von der Erkennung von unvollständigen Spritzgussteilen über die Bewertung von Spaltbreiten bei der Karosseriefertigung bis zur kontinuierlichen Erfassung des Baustandes im Bauwesen.

Die Produkte in der Bildverarbeitung (BV) umfassen die Systeme (inkl. Software) sowie die zugehörigen Komponenten. Die Systeme umfassen anwendungsspezifische und konfigurierbare Systeme. Die Komponenten umfassen Kameras, Smart Cameras, Framegrabber, Beleuchtung und optische Komponenten.

Durch den Einsatz von Scannern ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit detailgetreue dreidimensionale Bilder z. B. vom Maschinenraum eines Schiffes zu erstellen. Weiterhin ist es möglich, zur Implementierung von Ballastwasserbehandlungssystemen das 3D-Laserscanning einzusetzen. Die dadurch erhaltenen Ausmessungen des vorgesehenen Stellplatzes ermöglichen eine präzise und störungsfreie Nachrüstung der Einheiten. Weiterhin könnte die Installationszeit eines Ballastwasser-Managementsystems deutlich verkürzt werden. Weitere Anwendungsfälle für das 3D-Laserscanning sind auch die Wartung, Reparatur und Instandhaltung von Schiffen mithilfe von 3D-Technologien.

4.3 Simulation und Berechnung

Simulationssoftware-Systeme sind ein wesentlicher Bestandteil des CAE (Computer Aided Engineering), d. h. des modernen digitalen Produktentstehungsprozesses. Obwohl streng genommen dazu auch die Tools und Methoden der CAD-Konstruktion (Computer Aided Design), CIM/CAM (Computer Integrated Manufacturing/Computer Aided Manufacturing) und weitere CAx-Schritte des digitalen Engineerings gehören, wird der Begriff CAE oft synonym für Simulationssysteme verwendet. Typische Anwendungen für die Simulation mit virtuellen Prototypen sind diverse Tests, z. B. für

- Ausbreitung von Wärme
- Optimierung von Antrieben und Verbrennungsprozessen
- Schall- und Schwingungsbelastungen, Schallausbreitung z. B. im Fahrzeuginnenraum (NVH: Noise, Vibration, Harshness)
- Ermittlung der Dauerhaltbarkeit und Widerstandsfähigkeit von Bauteilen und Konstruktionen, Ermittlung ihrer Lebensdauer
- Weitere Optimierungen, z.B. von Bauteilformen oder Materialien

5 Trends und Prognosen

Die 3D-Computergraphik ist eine verhältnismäßig junge Disziplin. Die ersten Forschungsarbeiten gab es in den 60er-Jahren. Eine weitere Verbreitung gab es erst in den 80er- bzw. 90er-Jahren durch die dann erschwingliche Hardware. Inzwischen ist das Thema „3D“ sowohl in der multidisziplinären Forschung (Informatik, Optik, Messtechnik, ...) als auch in der kommerziellen Anwendung sehr stark gewachsen.

5.1 Forschungs- und Entwicklungsintensität

Die folgende Abbildung 6 zeigt den stetigen Anstieg bei weltweiten wissenschaftlichen Publikationen zu 3D-Techniken in den letzten zehn Jahren. Betrachtet man die Verteilung der Publikation auf die Herkunftsländer, wird deutlich, dass die USA mit deutlichem Abstand führen, gefolgt von Japan, China und Großbritannien. Deutschland liegt in diesem Ranking auf Platz 5. Betrachtet man nicht die reine Publikationszahl, sondern zählt die Anzahl der Referenzen (Abbildung 7) als Grad der Wirkung einer Publikation innerhalb der weltweiten Forschung, so zeigt sich, dass die USA immer noch deutlich führen, dann aber bereits Großbritannien, Deutschland und sogar Kanada und Frankreich noch vor Japan und China liegen.

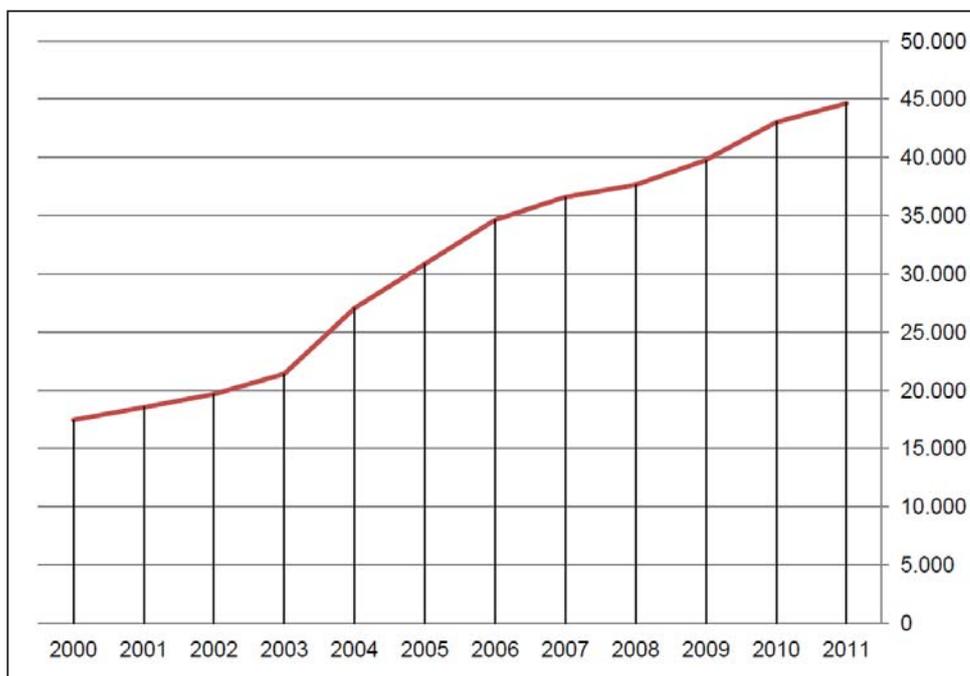


Abbildung 6: Entwicklung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu 3D-Themen weltweit (2000-2011)

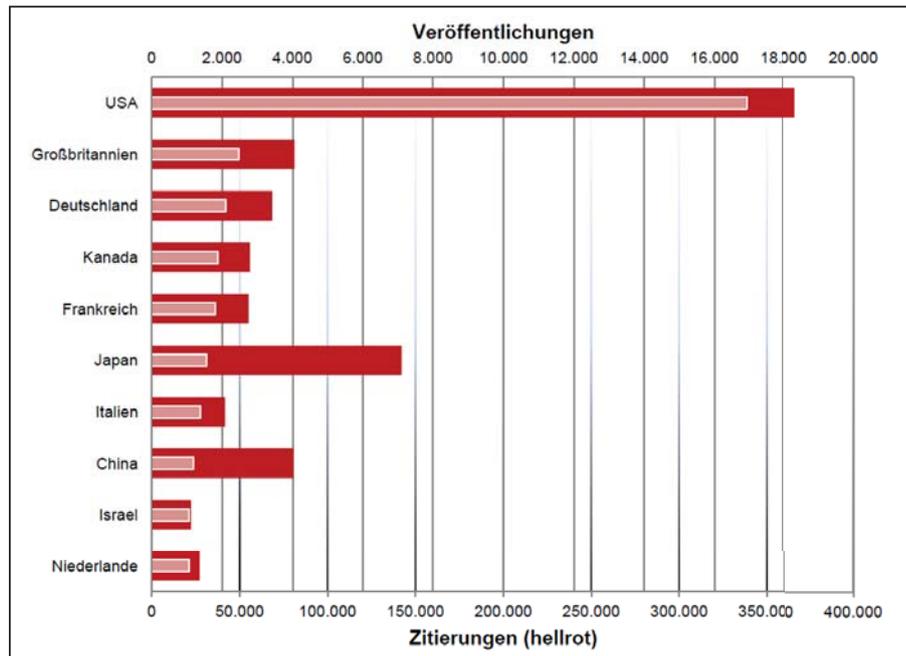


Abbildung 7: Anzahl von Zitierungen und Veröffentlichungen zu Computergrafik und CAD (1996-2010)

Der anhaltende Aufwärtstrend in der Forschung wird auch durch die Analyse der Patente unterstrichen. Die Entwicklung der Anmeldung 3D-relevanter PCT-Patentfamilien⁴ zeigt, dass die Entwicklung ca. 1990 einen starken Anstieg verzeichnet, der erst gegen 2008 endet. Für die letzten zwei Jahre liegen keine Statistiken vor. Aus Interviews mit 3D-Anbietern und aus der Betrachtung der Forschungsaktivitäten lässt sich für diesen Zeitraum eine erneute Steigerung erwarten.

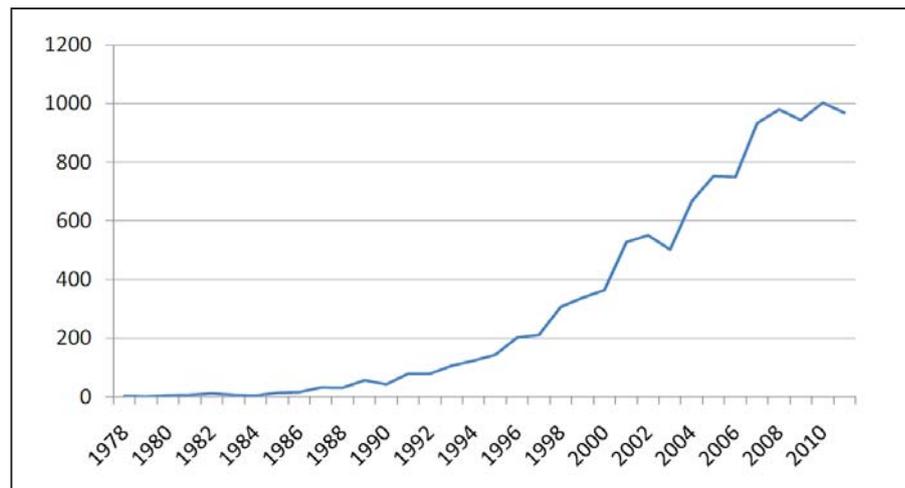


Abbildung 8: Entwicklung der Anmeldung 3D-relevanter PCT-Patentfamilien (absolute Häufigkeiten)

⁴ Patent Cooperation Treaty, ein Übereinkommen zur vereinfachten Anmeldung internationaler Patente. PCT-Patentfamilien bilden einen guten Indikator für die Innovationsaktivität in einem Gebiet.

5.2 Prognose des 3D-Marktes in Deutschland

Der deutsche 3D-Markt besteht heute aus mehr als 1.000 Unternehmen und einem Jahresumsatz von 8,7 Mrd. Euro. Das verfügbare Zahlenmaterial erlaubt keine Differenzierung in unterschiedliche Anwendungsbranchen. Konkrete Zahlen für den Markt maritimer 3D-Produkte lassen sich deshalb nicht seriös ableiten. Für die Entwicklung bis 2020 ist von einem stetigen Wachstum der deutschen 3D-Umsätze auszugehen. Der 3D-Umsatz wird im Zeitraum 2010 bis 2020 von 8,7 Mrd. auf mindestens 11,9 Mrd. Euro ansteigen, dies entspricht einem nominalen durchschnittlichen Wachstum von 3,3 % p. a. Die Auswertung von Studien zu einzelnen Segmenten (3D-Druck, 3D-Bildverarbeitung etc.) sowie Interviews mit Vertretern von 3D-Anbietern bzw. bedeutenden 3D-Anwendern ist ein durchschnittliches Wachstum des deutschen 3D-Umsatzes in Höhe von 15,0 % im Zeitraum 2010 bis 2020 als realistisch einzustufen. Im Ergebnis dieses zweiten Ansatzes zeigt sich damit, dass der 3D-Umsatz in Deutschland bis zum Jahr 2020 auf rund 35,1 Mrd. Euro ansteigen wird. Für das zusätzliche Potenzial ergibt sich daraus eine Steigerung um rund 23 Mrd. Euro. Diese optimistische Prognose beruht primär auf der Beobachtung, dass die heute bereits verfügbaren 3D-Techniken ihr Marktpotential bei weitem noch nicht ausgereizt haben und zudem Entwicklungssprünge zu erwarten sind, die ebenfalls neue Märkte erschließen.

Diese Zahlen erfassen nur die direkten Umsätze mit 3D-Produkten oder Dienstleistungen. Durch die hohe Bedeutung von 3D in der Produktentwicklung und die wachsende Bedeutung auch in den späteren Phasen des Lebenszyklus gilt es auch die sekundären Effekte zu würdigen. So sind die 3D-Techniken oft Wegbereiter für eine höhere Produktivität und unerlässliches Werkzeug für Innovationen der einsetzenden Branchen vom Auto bis zum Kreuzfahrtschiff. Für den Standort Deutschland spielt die 3D-Technik in ihren unterschiedlichen Facetten also eine nicht zu unterschätzende Rolle.

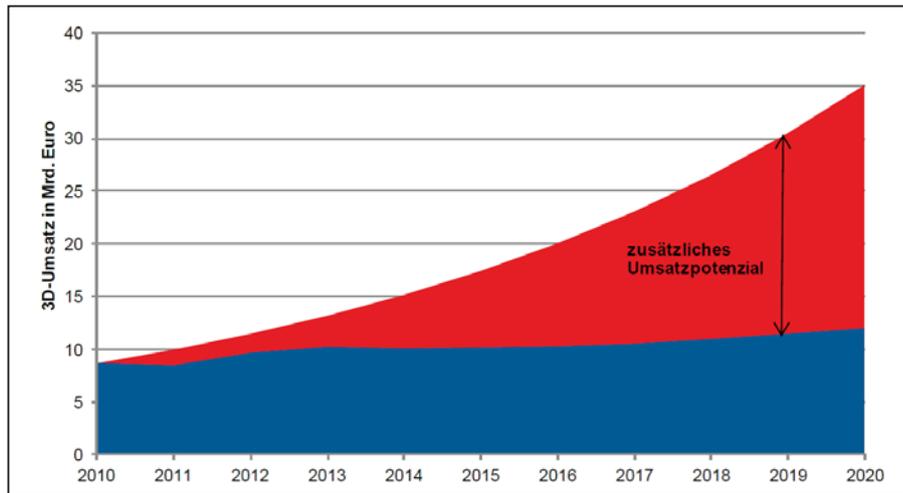


Abbildung 9: Korridor des zukünftigen 3D-Umsatzes basierend auf einer konservativen und einer dynamisierten durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate, in Mrd. Euro, 2010 bis 2020

5.3 Technologietrends

Wie bereits in Abschnitt 4 erläutert, bieten sich in der maritimen Wirtschaft zahlreiche Einsatzmöglichkeiten innerhalb des Lebenszyklus eines Schiffs oder einer Offshore-Installation. Vier dieser zukünftigen Anwendungen sollen hier kurz beleuchtet werden.

5.3.1 Cyber Physical Systems in der Produktion

Bedingt durch den Unikatcharakter der Endprodukte der deutschen maritimen Wirtschaft lassen sich viele Produktionsschritte bislang nicht sinnvoll automatisieren. Der aktuelle Widerspruch einer hoch-flexiblen Fertigung und einem hohen Automatisierungsgrad könnte durch den Einsatz von Cyber Physical Systems (CPS) in der Produktion aufgelöst werden. CPS zeichnen sich durch einen hohen Grad an Flexibilität und Autonomie aus und optimieren zudem das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschinen bzw. Roboter. Für die zu leistende Planung, Optimierung und Steuerung von Abläufen ist insbesondere eine umfassende Sensorik erforderlich, die ein semantisch reiches 3D-Modell der Fertigungsanlagen speist. Auf den Schiffbau bezogen soll ein kontinuierli-

cher Abgleich zwischen dem digitalen Sollmodell und dem aktuellen physischen Baustand erfolgen. Dieser Abgleich bildet die Grundlage für die Qualitätssicherung und eine schnelle Umplanung bei Störungen im Fertigungsablauf.

5.3.2 Augmented Reality für Retrofitplanung

Getrieben durch verschärfte rechtliche Vorschriften (z. B. Schadstoffausstoß im Abgas oder Ballastwasserbehandlung) müssen Schiffe teilweise während ihrer Lebensdauer nachgerüstet oder umgebaut werden. Die Planung eines solchen Retrofit erfordert heute in der Regel ein manuelles Aufmaß durch den Anbieter von Rauchgasreinigungsanlagen bzw. Ballastwasserbehandlungsanlagen. Zukünftig könnte dieser Schritt dadurch ersetzt werden, dass ein Besatzungsmitglied mit einer App des Anbieters den in Frage kommenden Bauraum über die im Smartphone vorhandene Kamera erfasst. Die App liefert eine 3D-Rekonstruktion und fordert den Bediener zur Angabe einiger wenige Zusatzangaben auf (Lokalisierung von Anschlussstellen etc.). Die 3D-Daten werden dann zum Anbieter übermittelt, der in diesem 3D-Raum seine Planung vornehmen kann. Das Ergebnis wird dann an Bord zurückgeschickt und mittels einer Überblendung der Realität durch die virtuellen Objekte (Augmented Reality) kann die Planung im realen Umfeld überprüft und ggf. korrigiert werden.

5.3.3 Spielebasiertes Training

Aktuelle Computerspiele bieten heute bereits virtuelle Welten mit sehr hoher visueller Qualität und einer hinreichend guten Simulation physikalischer Effekte in Echtzeit. Damit bilden die zur Realisierung der Spiele genutzten 3D-Engines auch eine interessante Option für die Bereitstellung moderner Trainingssysteme. Unter Nutzung der Konstruktionsdaten eines Schiffs oder einer Offshore-Plattform können damit Ausbildungsinhalte spielerisch vermittelt werden. Analog zu einem Spiel muss der Trainee innerhalb der virtuellen Welt (ggf. im Team mit anderen Auszubildenden) eine Mission erfüllen. Wichtige Ziele aktueller Forschung sind hier die geeignete didaktische Aufbereitung sowie die effiziente Umsetzung von abstrakten Trainingsinhalten in konkrete Handlungsoptionen im Spiel.

5.3.4 Durchgängiger 3D-Einsatz in der Wertschöpfungskette

Auch wenn innerhalb der Konstruktion heute bereits umfassend mit 3D-Daten gearbeitet wird, so werden an den Schnittstellen zu anderen Abteilungen (Einkauf, Fertigung, technische Dokumentation etc.) oder auch zu externen Partnern (Lieferanten, Zertifizierer etc.) die 3D-Daten oft in Bilder oder 2D-Zeichnungen umgewandelt. Diese Umwandlung ist nicht nur mit einem manuellen Aufwand verbunden, der nicht zur Wertschöpfung beiträgt – er ist zudem mit einem Informationsverlust verbunden, der nicht in jedem Fall vorteilhaft ist.

Durch moderne Webtechnologien lassen sich 3D-Daten heute nahtlos in Webseiten einbauen und interaktiv nutzen. Ohne zusätzliche Plugins lassen sich 3D-Anwendungen so jedem Mitarbeiter in der Wertschöpfungskette zugänglich machen und auch mobile Einsatzszenarien in einfacher Weise mit 3D-Daten unterstützen. Alternativ dazu bietet auch der Einsatz von standardisierten Visualisierungsformaten, wie z. B. das von der ISO verabschiedete JT-Format⁵, gute Möglichkeiten, Daten aus der Konstruktion Dritten zugänglich zu machen. Das Visualisierungsformat bietet gegenüber den CAD-Daten den Vorteil, dass es wesentlich kompakter ist, sensible Informationen (z. B. Konstruktionshistorie) verbergen kann und mit frei verfügbaren Viewern auf jedem Arbeitsplatz angezeigt werden kann.

6 Resümee

Die Erstellung, Verarbeitung und Ausgabe von 3D-Daten im Kontext industrieller Anwendungen hat sich in den vergangenen fünf Jahrzehnten sehr dynamisch entwickelt. 3D-Techniken sind heute ein wichtiger Baustein moderner Prozesse – in der Produktentwicklung und darüber hinaus in vielen anderen Phasen im Produktlebenszyklus. Der so entstandene Markt für Hardware, Software und Dienstleistungen ist mit mehr als 1.000 Unternehmen in Deutschland und einem Jahresumsatz von knapp 9 Milliarden € ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Durch die weitere Marktdurchdringung und die sich abzeichnenden Technologiesprünge können Umsatzsteigerungen bis 15 % erwartet werden, was deutlich über der Prognose anderer Wirtschaftszweige liegt. Für die Anwendung von 3D in der maritimen Branche müssen einige Besonderheit beachtet werden:

⁵ ISO 14306:2012 Industrial automation systems and integration -- JT file format specification for 3D visualization

- Im Vergleich zur Automobilbranche oder auch zur Flugzeugindustrie ist der Sektor Schiffbau und Meerestechnik deutlich kleiner und zudem weitgehend mittelständisch geprägt. Die Entwicklung von Standardlösungen (z.B. CAD) orientiert sich somit weniger an den Anforderungen maritimer Unternehmen. Auch Forschung und Entwicklung werden primär durch die großen Anwenderbranchen vorangetrieben.
- Die Anforderungen des Schiffbaus (und in ähnlicher Weise der Meerestechnik) decken sich nur zum Teil mit den Anforderungen anderer Industriesektoren. Ähnlichkeiten finden sich insbesondere im Anlagenbau und dem Bau von Sondermaschinen. Kennzeichnend sind hier die Fertigung von kundenspezifischen Unikaten oder Kleinstserien sowie die hohe Komplexität der Produkte. So liegt die Anzahl von Einzelteilen eines Schiffs um den Faktor 10 höher als bei einem Flugzeug.
- Auch die Größe der Produkte spielt an der Schnittstelle zwischen realen und virtuellen Produkten eine Rolle. So sind viele Einzelteile oder auch Baugruppen eines PKW vergleichsweise handlich und lassen sich teils in einem Stück durch einen 3D-Drucker ausgeben. Schiffbauliche Bauteile überschreiten das heute durch einen 3D-Drucker erzeugbare Volumen um ein Vielfaches.

Durch die genannten Besonderheiten hat die 3D-Technik im maritimen Sektor noch nicht die Marktdurchdringung erreicht, die wir beispielsweise im Automobilsektor beobachten können. Es zeigt sich jedoch, dass sich durch eine geeignete Kombination und Anpassung von am Markt verfügbaren Angeboten auch gut nutzbare Lösungen für die maritime Industrie erstellen lassen. Es bedarf dafür aber geeigneter Experten, die sowohl den Anwendungskontext gut kennen als auch den Technologiebereich fundiert bewerten können. Aus dieser Kombination lassen sich auch weitere passgenaue 3D-Anwendungen erwarten, die dazu beitragen, die Prozesse im Produktlebenszyklus zu optimieren und die Innovationskraft der Branche zu steigern. Hiervon profitieren die Anwender der maritimen Branche, aber auch spezialisierte 3D-Anbieter, die sich den Herausforderungen der Branche stellen.

Literatur

Für eine umfangreiche Literaturliste zu 3D-Technologien, Marktbetrachtung einzelner Segmente und Entwicklungstrends sei auf die publizierte Studie verwiesen.

Computer Vision für Alle: 3D-Rekonstruktion auf dem Handy und aus Internetdaten

Prof. Dr.-Ing. Michael Goesele

Fachbereich Informatik

TU Darmstadt

Rundeturmstraße 12

64283 Darmstadt, Deutschland

michael.goesele@gris.informatik.tu-darmstadt.de

Abstract: During the last decade, computer vision saw some fundamental changes. In particular, it has moved away (and is still moving) from fairly restricted and controlled settings to operate under very general conditions and on almost unrestricted data. One example for this development are 3D reconstruction techniques that - triggered by a series of innovations - can now operate successfully even on very challenging data. In this talk, I will first give an overview over these recent developments before I focus on two specific areas: 3D reconstruction using mobile devices such as the now ubiquitous smartphones and 3D reconstruction from image and video data collected from Internet sources. While both of those areas have many things in common, they each also provide unique challenges and opportunities. The talk will finally close with an outlook on upcoming developments.

3D-Anwendungen

Automatische Bestimmung von Ausbaupfaden unter Berücksichtigung von Kostenaspekten¹

Johanna Frank, Benjamin Mesing, Uwe von Lukas

Abteilung Maritime Graphics
Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung
Joachim-Jungius-Straße 11
18059 Rostock, Deutschland
johanna.h@dlak.de, benjamin.mesing@igd-r.fraunhofer.de
uwe.von.lukas@igd-r.fraunhofer.de

Abstract: Um die Kosten für den im Wartungsfall teilweise erforderlichen Ausbau von großen Modulen aus Schiffen zu minimieren, ist eine sorgfältige Planung erforderlich. Im Allgemeinen ist es für den Austausch dieser großen Module notwendig, andere Objekte wie bspw. Rohre oder Kabelbahnen auszubauen bzw. aufzutrennen. Während für einen Teil der Module bereits während der Konstruktion ein Ausbaupfad geplant wird und entsprechende Sperrvolumina definiert werden, bleiben andere Module unberücksichtigt. In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, wie mit Hilfe von Methoden der Bewegungsplanung in einer beengten, mit Hindernissen versehenen Umgebung, wie beispielsweise einem Maschinenraum, automatisch ein günstiger Ausbaupfad ermittelt werden kann. Klassische Ansätze der Bewegungsplanung erlauben es bislang nicht, ausbaubare Hindernisse und deren Ausbaukosten zu berücksichtigen. Unsere wesentliche Neuerung ist die Anpassung und Weiterentwicklung bestehender Ansätze für deren Berücksichtigung.

1 Einleitung

Die effiziente Durchführung von Wartungen und Reparaturen ist ein wichtiger Beitrag für die Senkung der Betriebskosten eines Schiffs. Neben der Reduzierung des Treibstoffverbrauchs kann durch Optimierungen in diesem Bereich ein Beitrag zur Reduzierung der Total Cost of Ownership geleistet werden [Re12].

¹ Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 03SX273 gefördert. Die Verantwortung für deren Inhalt liegt bei den Autoren.

Die im Zuge von Wartungs- oder Reparaturarbeiten notwendige Demontage großer Bauteile aus dem Maschinenraum erfordert in der Regel auch den Ausbau anderer Anlagen, das Auftrennen von Rohrleitungen oder Kabelbahnen oder gar das Aufschweißen der Bordwand, um den Ausbau zu ermöglichen. Für sehr große Module, wie beispielsweise die Hauptmaschine oder eine Zwischenwelle, wird in der Regel bereits bei der Konstruktion ein Ausbaupfad für den Havariefall geplant. Für andere größere Module, wie beispielsweise Klimaschränke, geschieht dies aber in den seltensten Fällen. Kommt es dann zu einem Havariefall oder wird nachträglich vom Reeder die Bereitstellung eines Ausbaupfades gefordert, ist ein erheblicher Aufwand notwendig, um einen möglichst günstigen Pfad zu ermitteln. Die Pfadermittlung kann mehrere Tage in Anspruch nehmen.

Zur Minimierung des Aufwands ist es naheliegend, diesen Prozess mit Softwarewerkzeugen zu unterstützen. Hierfür bieten sich Methoden der Bewegungsplanung an, wie sie in der Steuerung autonomer Roboter Einsatz finden. Ein wesentlicher Unterschied der Problemstellung zur klassischen Problematik der Bewegungsplanung aus der Robotik ist der Fakt, dass im vorliegenden Fall bei der Ermittlung des Pfades die Kollision mit anderen (ausbaubaren) Teilen in Kauf genommen werden muss, da sonst die Ermittlung eines kollisionsfreien Ausbaupfades i.d.R. nicht möglich ist. Stattdessen muss ein Pfad gefunden werden, bei dem möglichst wenig andere Module ausgebaut werden müssen. Genauer sollten die Kosten, die der Ausbau der anderen Module und der Transport des auszubauenden Modules verursachen, möglichst gering sein.

Die Ausbaurkosten für verschiedene Arten von Modulen können dabei sehr stark variieren. So ist es relativ günstig ein Rohr aufzutrennen und dann mittels eines Flansches wieder zusammenzufügen, wohingegen das Durchtrennen und spätere Zusammenfügen von Kabeln erheblich mehr Aufwand verursacht. In dieser Publikation wird daher ein Konzept vorgestellt, wie basierend auf Methoden aus der Robotik ein möglichst günstiger Ausbaupfad ermittelt werden kann. Ausgangspunkt für die Pfadermittlung sind etablierte Verfahren aus der Bewegungsplanung, speziell der Rapidly Exploring Random Tree (RRT-Algorithmus) [La98; LK00; KL00]. Verschiedene bestehende Erweiterungen werden kombiniert, um dem Fakt Rechnung zu tragen, dass es sich bei einem Maschinenraum um einen hochkomplexen Bereich handelt und um die individuellen Ausbaurkosten von störenden Modulen mit zu berücksichtigen.

Wesentlicher Beitrag der Autoren ist es, einen Algorithmus zu konzipieren, der den Ausbaupfad für Module in komplexen Bereichen ermittelt. Der Algorithmus erlaubt es, zwischen festen (nichtausbaubaren) Modulen (Hindernissen) und zwischen Modulen, deren Ausbau mit Kosten verbunden ist, zu unterscheiden. Eine umfangreichere Herleitung und Darstellung des Verfahrens und der Implementierung findet sich in [Fr12].

2 Bewegungsplanung

Das Bewegungsplanungsproblem stammt ursprünglich aus der Robotik. Es umfasst die Berechnung machbarer Bewegungen von autonomen Fahrzeugen in mit Hindernissen durchsetzten Umgebungen [La91]. Methoden der Bewegungsplanung sind in den letzten Jahren intensiv erforscht worden und finden mittlerweile auch außerhalb der Robotik Anwendung. Aktuelle Forschungen befassen sich zunehmend mit hochkomplexen speziellen Teilproblemen, zum Beispiel dem Finden des kürzesten oder des kostengünstigsten Pfades. Eine Nutzung dieser umfangreichen Vorarbeiten und die Übertragung auf die Ausbauplanung bieten sich daher an.

Bei der Bewegungsplanung wird ein kollisionsfreier Pfad gesucht, so dass ein Objekt (der Roboter) von einer initialen Position und Orientierung zu einer finalen Position und Orientierung bewegt werden kann. Dieses Problem kann mit Hilfe des *Konfigurationsraumes* C [Ud77; Lo83; La91] in einer einheitlichen Weise beschrieben werden.

In C wird jede Lage des Roboters A durch eine *Konfiguration* q beschrieben. q ist ein Tupel, welches sich aus den Freiheitsgraden (Degrees of Freedom, DOF) von A zusammensetzt. Die Anzahl der DOF bestimmt die Dimension von C . Kann sich bspw. A in einer dreidimensionalen Welt, entlang aller Achsen bewegen und um alle Achsen rotieren, so besitzt A sechs DOF und C ist somit sechsdimensional. Hindernisse werden im C durch die *Hindernisregion* $C_{obs} \subseteq C$ beschrieben. C_{obs} umfasst alle diejenigen Konfigurationen, welche in der Welt zu einer Kollision führen. Ein *Pfad* τ im C führt schließlich entlang verschiedener Konfigurationen, welche sich nicht in C_{obs} befinden. Die vorgegebenen *Start- und Zielkonfigurationen* für τ werden als q_{init} und q_{goal} bezeichnet (Abbildung 1).

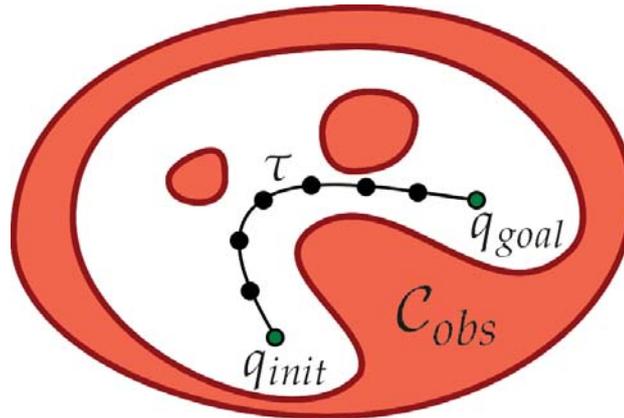


Abbildung 1: Konfigurationsraum C

2.1 Sampling-basierte Bewegungsplanung

Sampling-basierte Methoden wurden für hochkomplexe Probleme entwickelt, für welche eine exakte Lösung nicht möglich oder zu rechenintensiv ist. Stattdessen soll die Lösung approximiert werden, indem mit sogenannten *Samples* der Konfigurationsraum stichpunktartig durchsucht wird. Auch die für die Bewegungsplanung erforderliche Kollisionsprüfung kann durch Sampling-basierte Verfahren erheblich beschleunigt werden. Die Kollisionserkennung erfolgt über ein von der Bewegungsplanung unabhängiges *Kollisionsmodul*. Samples können zum Beispiel zufällig generierte oder nach einem anderen *Sampling-Schema* gewonnene Konfigurationen sein. Weitere Heuristiken wie *Abstandsfunktionen* und *Lokale Planer* sorgen für die Auswahl benachbarter Samples und die Verbindung zwischen diesen. Auf diese Weise wird schrittweise eine Datenstruktur in Form eines *Baumes T* bzw. eines *Graphen G* aufgebaut, aus welcher schließlich ein oder mehrere Pfade resultieren. Aufgrund dieser konzeptuellen Einfachheit, sind sampling-basierte Planer auf eine sehr allgemeine Klasse von Problemen anwendbar und decken mit zahlreichen Varianten ein großes Spektrum vielfältigster Problemstellungen ab.

Die am häufigsten verwendeten sampling-basierten Ansätze sind *Roadmap-Methoden* (Probabilistic Roadmap Method, PRM) [KSL+96; KKL98] von Kavraki et al sowie die *Rapidly Exploring Random Trees (RRTs)* [La98; LK00; KL00] von LaValle und Kuffner Jr. PRMs explorieren den C vollständig und bilden alle möglichen Verbindungen zwischen den Samples auf einem Graphen, der *Roadmap*, ab. Diese wird dann für eine Vielzahl anschließender Suchanfragen

verwendet. Im Gegensatz dazu versuchen *Inkrementelle Suchmethoden*, zu denen RRTs zählen, die Exploration des gesamten C zu vermeiden und einen direkten Pfad von q_{init} zu q_{goal} zu berechnen. Das macht sie bzgl. Speicherplatz und Rechenzeit bei einzelnen Suchabfragen effizienter.

2.2 Einbeziehung von Qualitätskriterien

Grundsätzlich ist die Berücksichtigung von Qualitätskriterien, wie beispielsweise die Suche nach dem kürzesten, preiswertesten oder sichersten Weg, in der sampling-basierten Bewegungsplanung schwierig. Dies resultiert daraus, dass diese Anforderungen der Idee der sampling-basierten Planung entgegenstehen, in welcher ein grundsätzlich machbarer Pfad möglichst effizient gefunden werden soll. So haben Karaman und Frazzoli zum Beispiel gezeigt, dass der RRT mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 keinen optimalen Pfad generiert [KF10]. Zwar können Heuristiken wie Sampling-Schemata, Abstandsfunktionen und lokale Planer angepasst und Kosteninformationen in die Planung integriert werden, dies führt aber immer zu einem teils drastischen Effizienzverlust. Zudem kann nicht in jedem Fall garantiert werden, dass überhaupt ein optimaler Pfad gefunden wird. Denn dies käme einer exakten Bewegungsplanung gleich, welche nicht für alle Problemstellungen existiert und in vielen Fällen praktisch auch nicht umsetzbar ist [Re79, Ca88, CPK07]. So ist die Entwicklung von Methoden, welche bzgl. Effizienz und der Qualität ihrer resultierenden Pfade geeignet ausbalanciert sind, Gegenstand aktueller Forschung.

In der Literatur finden sich zwar bereits einige vielversprechende Ansätze, welche Qualitätskriterien mit in die Pfadplanung einbeziehen, diese sind jedoch oft nur auf spezielle Problemstellungen zugeschnitten oder nur für niedrigdimensionierte Probleme geeignet. Zu diesen zählen zum Beispiel der *heuristically guided RRT (hRRT)* von Urmson und Simmons [US03] und der *Anytime RRT* von Ferguson und Stentz [FS06], welche für Planungen in Outdoor-Umgebungen entwickelt wurden, in welchen das Umfahren schwieriger Geländeabschnitte oft mit geringeren Kosten verbunden ist als, die alternative Wahl eines kürzeren, aber unwegsameren Pfades.

Die hRRT-Methode basiert auf der Idee, das Sampling-Schema so anzupassen, dass nur solche Samples für die Baumerweiterung in Frage kommen, welche innerhalb eines bestimmten Qualitätsmaßes liegen. Im Gegensatz dazu gene-

riert der Anytime RRT einen Pfad in mehreren Schritten. Im ersten Schritt wird ein RRT mit einfachen Heuristiken generiert, welcher lediglich der effizienten Überprüfung dient, ob überhaupt ein machbarer Pfad existiert. In den weiteren Schritten werden immer wieder neue Pfade generiert, jedoch mit modifizierten Sampling-Schemata, Abstandsfunktionen und lokalen Planern des RRT, welche garantieren, dass in jedem Schritt ein kostengünstigerer Pfad resultiert.

Beide Ansätze führen zu einer signifikanten Verbesserung der Pfadqualität, verhalten sich aber nur in speziellen Fällen auch effizient. So kann im Fall des hRRT das geforderte Qualitätsmaß für Samples zu einem Problem führen, wenn sich q_{init} oder q_{goal} in einem lokalen Minimum oder Maximum befindet. Zwar sorgt ein Wahrscheinlichkeitskoeffizient dafür, dass dennoch gelegentlich Samples akzeptiert werden, welche nicht das Qualitätsmaß erfüllen, dennoch kann es zu starken Effizienzeinbußen oder gar zu einem Scheitern der Pfadplanung kommen. Der Anytime RRT versucht dieses Problem mit dem ersten Planungsschritt zu umgehen, in welchem zunächst ein effizienter Pfad generiert wird. Allerdings sind die anschließend verwendeten Heuristiken, welche zu günstigeren Pfaden führen, derart komplex, dass ein rasanter Anstieg der Rechenzeit mit jedem weiteren Schritt anzunehmen ist.

3 Pfadplanung unter Kostenaspekten

Für die Pfadplanung unter Berücksichtigung von Kosten sind zwei wesentliche Aspekte von Interesse. Zum einen müssen alle in den Pfadverlauf einfließenden Kosten identifiziert und entsprechend in die Terminologie des Bewegungsplanungsproblems integriert werden. Zum anderen muss ein geeignetes Entscheidungskriterium bestimmt werden, an Hand dessen ein Pfad effizient als kostengünstig bzw. kostenintensiv identifiziert werden kann. Diese Aspekte werden nachfolgend näher betrachtet.

3.1 Integration von Kosteninformationen in die Pfadplanung

Beim Ausbau eines Modules auf einem Pfad τ tragen zwei Aspekte zu den Gesamtkosten bei:

1. Kosten, die abhängig von der zurückgelegten Weglänge sind
($Cost_{length}(\tau)$)

2. Kosten, die durch den Ausbau im Weg befindlicher anderer Module entstehen ($Cost_{dis}(\tau)$)

Damit ergeben sich die Gesamtkosten eines Pfades folgendermaßen: $Cost_{path}(\tau) = \alpha \cdot Cost_{length}(\tau) + \beta \cdot Cost_{dis}(\tau)$, wobei α und β eine Wichtung der Kostenarten gegeneinander erlauben.

Bei den Hindernissen werden zwei Arten unterschieden: feste Hindernisse, die nicht ausgebaut werden können und ausbaubare Hindernisse, deren Ausbau definierte Ausbaukosten verursacht. Letztere lassen sich auch als *Kostenräume* $Cost-spaces$ betrachten, da deren Betreten bestimmte Kosten verursacht. Die Notation des Konfigurationsraumes wird entsprechend um den $C_{costSpace}$ erweitert, welcher alle Konfigurationen beinhaltet, die mit einem Kostenraum kollidieren. Diese Erweiterung des Konfigurationsraumes ermöglicht es nun mit Hilfe des Kollisionsmodulmoduls entsprechende Kostenräume zu identifizieren und die auf der Geometrie verankerten Kosten in die Pfadplanung zu integrieren.

3.2 Bewertung der Pfadqualität

Wesentliches Ziel einer Ausbauplanung ist die Berechnung eines Pfades, der eine optimale, also eine kostengünstige Lösung annähert. Um abschätzen zu können, ob ein Pfad dies erreicht, muss eine Schätzung für die Kosten einer optimalen Lösung vorliegen. Dies ist aber aufgrund des unbekanntem Pfadverlaufs sowie der Ungewissheit, welche Module im optimalen Fall ausgebaut werden müssen, a priori nicht möglich.

Ohne diese Bezugsgröße ist es nicht möglich zu entscheiden, ob eine kostengünstige Lösung angenähert wird oder nicht. Um dies jedoch entscheiden zu können, bedarf es zunächst des Vergleiches mit weiteren Pfaden, bei dem ein anderes Kriterium als die zugrundeliegenden Kosten herangezogen werden sollte. Anschließend ist ein Verfeinerungsschritt notwendig, um das lokale Optimum tatsächlich zu erreichen. Aufgrund des notwendigen Vergleiches mit anderen Pfaden und der Tatsache, dass Verfeinerungsschritte am einfachsten lokal durchgeführt werden können, ist es sinnvoll nicht einen, sondern eine Reihe verschiedener Pfade in einem ersten Schritt zu generieren. Damit wird eine möglichst große Abdeckung der für eine günstige Lösung in Frage kommenden Pfade erreicht.

Ein entsprechendes Vergleichskriterium wird nachfolgend im Abschnitt 3.3 vorgestellt. In Kapitel 4 wird der Lösungsansatz präsentiert, welcher die hier getätigten Überlegungen in zwei Schritten umsetzt.

3.3 Kostenähnlichkeit und Kostenunähnlichkeit

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, dass es schwierig ist zu entscheiden, welcher von einer Reihe von Pfaden näher an einer optimalen Lösung liegt. Jedoch können die konkret durchlaufenen Kostenräume für einen Vergleich herangezogen werden. Dazu definieren wir nachfolgend zueinander kostenähnliche und *kostenunähnliche* Pfade und zeigen, dass sich daraus in einigen Fällen ableiten lässt, dass ein Pfad in jedem Fall kostengünstiger ist, als ein anderer.

(1) Zwei Pfade τ_a und τ_b sind zueinander kostenähnlich, wenn die Mengen der durchlaufenen Kostenräume gleich sind. Daraus kann abgeleitet werden, dass derjenige Pfad, der kürzer ist, eine kostengünstigere Lösung annähert (Abbildung 2a)

(2) Durchlaufen zwei Pfade τ_a und τ_b unterschiedliche Kostenräume, dann sind sie zueinander kostenunähnlich. Hierbei werden zwei Fälle unterschieden: (2a) Durchläuft der kürzere Pfad τ_a ausschließlich Kostenräume, welche auch im τ_b durchlaufen werden, dann kann τ_b als kostenintensiver ausgeschlossen werden (Abbildung 2b). (2b) Andernfalls kann keine Aussage darüber getroffen werden, welcher der Pfade potentiell eine kostengünstigere Lösung annähert (Abbildung 2c).

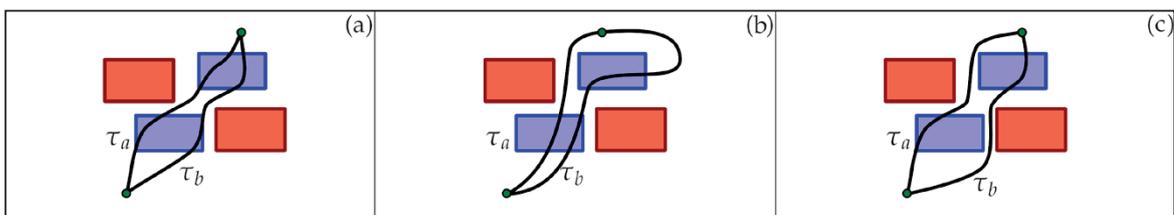


Abbildung 2: Kostenähnlichkeit und -unähnlichkeit miteinander verglichener Pfade. Dargestellt ist jeweils eine Umgebung mit Hindernissen (rot), Kostenräumen (blau) und zwei Pfaden τ_a und τ_b .

4 Generieren kostengünstiger Ausbaupfade

In diesem Abschnitt wird, basierend auf Varianten der RRT-Methode, ein Lösungsansatz vorgestellt, welcher einen kostengünstigen Ausbaupfad in zwei Schritten bestimmt. Dem liegt die Idee zugrunde, zunächst – in Anlehnung an den Anytime RRT und an die Überlegungen in Abschnitt 3.2 – einige schnelle initiale Lösungspfade zu generieren und diese in einem zweiten Schritt zu verfeinern. Die Notwendigkeit des Verfeinerungsschrittes wurde in Abschnitt 3.2 aufgrund der vorhandenen Kostenräume gezeigt.

4.1 Vorverarbeitung

Für die nachfolgend beschriebenen Schritte, müssen die zugrundeliegenden dreidimensionalen Daten so aufbereitet werden, dass auf Basis eines Kollisionstests unterschieden werden kann, ob sich Module in einem Kostenraum befinden, oder nicht. Des Weiteren müssen Ausbaurkosten einzelnen Modulen zugeordnet werden.

Die Autoren haben die erforderliche Datenaufbereitung zunächst zu Testzwecken manuell vorgenommen. Grundsätzlich lassen sich die Daten aber automatisch von der Werft, welche das jeweilige Schiff baut, generieren, da aufgrund handelsüblicher Modulnummern jedes Bauteil einwandfrei in den dreidimensionalen Daten identifiziert werden kann.

Hier ist lediglich ein Mapping auf zu erwartende Ausbaurkosten in Form von Arbeitsstunden sowie ein weiteres Mapping zur Zuweisung, ob es sich um ein festes oder ausbaubares Modul handelt, notwendig. Die Mappings sind sehr aufwendig, müssen aber nur einmal erstellt werden und können für jedes neue Schiff wiederverwendet werden, sofern sich die Bezeichner der Bauteile nicht ändern.

4.2 Generieren initialer Pfade

In Anlehnung an die Überlegungen in Abschnitt 3.2 werden im ersten Schritt der Pfadplanung eine Reihe initialer Pfade generiert, bis eine vorgegebene Zeitgrenze erreicht ist. Dazu wird ein effizienter RRT-Algorithmus verwendet, der in der Lage ist in einer dreidimensionalen Umgebung einen kollisionsfreien Ausbaupfad, auch für komplexe Komponenten, zu bestimmen. Bezüglich der Definition

von Kostenräumen in Abschnitt 3.1, wird allerdings kein gänzlich kollisionsfreier Pfad generiert, da potentiell ausbaubare Module (Kostenräume) auf dem Pfad liegen können. Diese werden jedoch „gemerkt“. Die Einbeziehung konkreter Die Einbeziehung von Kosten spielt in diesem Schritt noch keine Rolle.

Die Menge der initial generierten Pfade stellt die Basis der Pfadplanung dar. In einem anschließenden Vergleichsprozess werden entsprechend der Folgerungen aus Kostenähnlichkeit und Kostenunähnlichkeit alle diejenigen Pfade verworfen, für welche sicher ist, dass sie nicht zu einer kostengünstigen Lösung beitragen werden. Die verbleibenden Pfade, nachfolgend als *Kandidatenpfade* bezeichnet, werden im anschließenden Verfeinerungsschritt betrachtet. Der Aussiebungsprozess erfolgt wie folgt.

Schrittweise wird jeder der initial generierten Pfade in eine Tabelle eingetragen, sofern er als Kandidatenpfad in Frage kommt. Diese Tabelle enthält Informationen über die Pfadlänge, die Anzahl durchlaufener Kostenräume sowie die konkret durchlaufenen Kostenräume. Die Entscheidung, ob ein Pfad in die Tabelle eingetragen wird, erfolgt auf Grundlage der sich bereits in der Tabelle befindlichen Kandidatenpfade. Ein neuer Pfad wird mit allen in der Tabelle befindlichen Kandidatenpfaden verglichen und ggf. eingetragen. Anschließend werden Kandidatenpfade, die schlechter als der neu hinzugekommene sind, gelöscht.

Nach dem Test aller initial generierten Pfade, enthält die Tabelle nur solche Kandidatenpfade, die zueinander kostenunähnlich sind und für die keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob sie gegenüber einem anderen Kandidatenpfaden ein globales Optimum annähern. In jedem Fall nähert aber jeder Kandidatenpfad bereits ein lokales Optimum an. Es kann sogar geschlussfolgert werden, dass die Nähe der verbliebenen Pfade zu einem lokalen Optimum mit der Gesamtzahl der generierten Pfade steigt, gleichzeitig die verbleibenden, noch zu verfeinernden, Kandidatenpfade aber sinken. Daraus resultiert, dass bereits mit dem Aussiebungsprozess eine global optimale Lösung gefunden werden kann, wenn der Algorithmus unendlich lange läuft und genügend Pfade generiert, um das Optimum zu finden.

4.3 Verfeinern von Kandidatenpfaden

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie die aus Schritt 1 resultierenden Kandidatenpfade verfeinert werden können. Die Idee besteht darin, nun die zugrundeliegenden Pfadkosten zu betrachten und zu versuchen durchlaufene Kostenräume zu umgehen, wenn das zu einer günstigeren Lösung führen würde.

In Abschnitt 3.2 wurde gezeigt, dass für einen Pfad nicht ohne weiteres zu entscheiden ist, ob die von ihm durchlaufenen Kostenräume einfach umgangen werden können. Der Benutzer kann dieses jedoch auf den ersten Blick erfassen. Aus diesem Grund bietet sich hier ein geeigneter Anknüpfungspunkt dem Benutzer zunächst die Kandidatenpfade visuell auszugeben und diesen entscheiden zu lassen, ob bestimmte Pfade gar nicht mehr weiter verfolgt werden sollen. Das führt dazu, dass die resultierenden Ergebnisse ganz im Sinne des Benutzers sind.

Der Verfeinerungsschritt erfolgt folgendermaßen. Für einen einzelnen Pfad wird für jeden durchlaufenen Kostenraum separat versucht, diesen zu umgehen. Dazu wird das alte Pfadsegment, welches durch diesen führt, entfernt und ein neues berechnet. Die Neuberechnung des Segmentes erfolgt, in dem das Sampling-Schema des RRT entsprechend modifiziert wird und nur noch Samples für eine Baumerweiterung akzeptiert werden, welche nicht zu einer Kollision mit dem betreffenden Kostenraum führen. Wenn auf diese Weise ein neuer Pfad gefunden wird und dieser günstiger ist, wird er durch den alten ersetzt. Abbildung 3 illustriert dieses Verfahren.

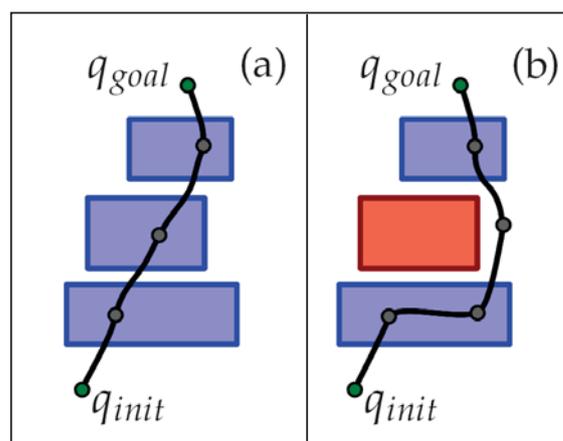


Abbildung 3: Pfadverfeinerung zur Kostensenkung: (a) Der Kandidatenpfad durchläuft drei Kostenräume (blau) (b) Der Verfeinerungsschritt hat den mittleren Kostenraum als festes Hindernis betrachtet und einen alternativen Pfad berechnet.

Wurden die Kostenräume aller Kandidatenpfade entsprechend dem Verfeinerungsschritt behandelt, kann nun eine endgültige Aussage darüber getroffen werden, welcher Pfad – im Vergleich zu allen anderen generierten Pfaden – die global kostengünstigste Lösung annähert. Dieser ist der Lösungspfad.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Bestehende Bewegungsplanungsansätze bieten keine Möglichkeit, ausbaubare Hindernisse mit diskreten Ausbaukosten zu berücksichtigen. Wir haben gezeigt, dass dieses durch die Erweiterung des Bewegungsplanungsproblems um Kostenräume und einen Lösungsansatz in zwei Schritten möglich ist.

Der vorgestellte Ansatz hat das Potential, beliebig dicht an die optimale Lösung heranzukommen, wenn unendlich viel Zeit zur Verfügung steht. Für die Zukunft ist zu evaluieren, wieviel Zeit in den ersten Schritt, dem Generieren initialer Pfade, investiert werden muss, damit am Ende eine hinreichend günstige Lösung garantiert werden kann. Dazu muss untersucht werden, wie sich die Anzahl der resultierenden Kandidatenpfade sowie der Aufwand des Verfeinerungsschrittes auf die gesetzte Zeitgrenze auswirkt. Wir vermuten, dass es eine untere Zeitschranke gibt, bis zu der die Berechnungskosten des Verfeinerungsschrittes steigen, wenn die verwendete Zeit in das Generieren der Kandidatenpfade steigt. Oberhalb dieser Zeitgrenze ist zu erwarten, dass die Berechnungskosten der Pfadverfeinerung sinken, wenn der Zeitaufwand für die Kandidatenpfade steigt. Dieses Verhalten kann mit dem beschriebenen Konzept zum Aussieben der Pfade begründet werden.

Zukünftig ist weiterhin die Integration von Constraints in die Bewegungsplanung denkbar, die zu einer noch realistischeren Einschätzung des kostengünstigsten Pfades führen kann. Hier sind zum Beispiel die Betrachtung von Risikokosten oder Bewegungseinschränkungen durch verschiedene zur Verfügung stehende Hebewerkzeuge zu nennen.

Literatur

- [Ca88] Canny, J. F.: *The Complexity of Robot Motion Planning*. MIT Press, Cambridge, MA, 1988.
- [CPK07] Cheng, P.; Pappas, G.; Kumar, V.: *Decidability of Motion Planning with Differential Constraints*. In: *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*. Rome, Italy, April 2007, S. 1826–1831.
- [Fr12] Frank, J.: *Automatische Bestimmung eines kostengünstigen Ausbaupfades für große Module in Schiffen*. Diplomarbeit, Universität Rostock, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik. 2012,
- [FS06] Ferguson, D.; Stentz, A.: *Anytime RRTs*. In: *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2006, S. 5369–5375.
- [KF10] Karaman, S.; Frazzoli, E.: *Incremental Sampling-Based Algorithms for Optimal Motion Planning*. In: *Proc. of Robotics: Science and Systems*. 2010.
- [KSL+96] Kavraki, L.E.; Svestka, P.; Latombe, J.-C.; Overmars, M.H.: *Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High-Dimensional Configuration Spaces*. In: *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Bd. 12(4) (1996), S. 566–580.
- [KKL98] Kavraki, L.E.; Kolountzakis, M.N.; Latombe, J.-C.: *Analysis of Probabilistic Roadmaps for Path Planning*. In: *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Bd. 14(1) (1998), S. 166–171.
- [KL00] Kuffner Jr, J.J.; LaValle, S.M.: *RRT-Connect: An Efficient Approach to Single-Query Path Planning*. In: *Proc. IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*. Bd. 2. 2000, S. 995–1001.
- [La91] Latombe, J.-C.: *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers (Boston), 1991.

- [La98] LaValle, S.M.: Rapidly-Exploring Random Trees: A new Tool for Path Planning. In: Bd. (98-11) (1998).
- [LK00] LaValle, S.M.; Kuffner Jr, J.J.: Rapidly-Exploring Random Trees: Progress and Prospects. In: Algorithmic and Computational Robotics: New Directions, Bd. (2000).
- [Lo83] Lozano-Pérez, T.: Spatial Planning: A Configuration Space Approach. In: IEEE Transactions on Computers, Bd. C-32(2) (1983), S. 108–120.
- [Re79] Reif, J.H.: Complexity of the Mover’s Problem and Generalizations. In: Proc. IEEE Symposium on Foundations of Computer Science. 1979, S. 421–427.
- [Re12] Reynolds, J.: The Total Cost of Ownership – Looking towards a more profitable future. Wärtsilä Technical Journal 02.2012, S. 55.59.
- [Ud77] Udupa, S.M.: Collision Detection and Avoidance in Computer Controlled Manipulators. Diss. California Institute of Technology, 1977.
- [US03] Urmson, C.; Simmons, R.: Approaches for Heuristically Biasing RRT Growth. In: Proc. IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems. Bd. 2. 2003, S. 1178–1183.

Simulation automatisierter Verpackungsprozesse für eine mobile Virtual Reality-Präsentation

Jürgen Roßmann^{1,2}, Roland Wischnewski², Stephan Hüwel³, Mario Gerber⁴

¹Institut für Mensch-Maschine-Interaktion

RWTH Aachen

Ahornstraße 55

52074 Aachen, Deutschland

rossmann@mmi.rwth-aachen.de

²RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 20

44227 Dortmund, Deutschland

wischnewski@rif-ev.de

³Abt. Innovationsmanagement/⁴Abt. Marketing

HAYER & BOECKER OHG Maschinenfabrik

Carl-Haver-Platz

59302 Oelde, Deutschland

s.huewel@haverboecker.com

m.gerber@haverboecker.com

Abstract: Dieser Artikel beschreibt ein neues Konzept zur virtuellen Präsentation von Verpackungsanlagen auf Messen. Es wurde ein neuartiges, robustes und wirtschaftliches VR-System realisiert. Die 3-D-Simulationssoftware zeigt vollständige Verpackungsprozesse in bewegten Stereobildern. Benutzer können in der Szene navigieren und mit den dargestellten Komponenten interagieren. Das VR-System wurde erfolgreich auf der Messe interpack eingesetzt.

1 Einleitung

Die Virtuelle Realität im Rahmen der Digitalen Fabrik wird seit mehr als einem Jahrzehnt in industriellen Unternehmen eingesetzt. Insbesondere die deutschen Automobilhersteller entwickeln und nutzen Methoden, um Produkte und Prozesse in der VR begreifbar zu machen [Br02]. Die zu diesem Zweck etablierten VR-Anlagen sind standortgebunden und hinsichtlich der Projektionswände nur bedingt rekonfigurierbar. Aus diesem Grund kommen die Anlagen für einen mobilen Einsatz – z. B. auf Messen – nicht in Frage.

In diesem Beitrag soll ein neuartiges VR-System vorgestellt werden, welches die Einschränkungen durch die feste Standortbindung überwindet und gleichsam eine ausreichend unkomplizierte Bedienung ermöglicht, um von kurz geschultem Personal auf Messen oder ähnlichen Veranstaltungen betrieben werden zu können. Mit der mobilen Nutzung können der VR neue Anwendungsfelder erschlossen werden, die nahtlos an die topaktuellen 3-D-Themen in Industrie und Gesellschaft anknüpfen.

2 Problemstellung

Die HAVER & BOECKER OHG Maschinenfabrik mit Sitz in Oelde in Westfalen ist eine international tätige Firmengruppe, die Systeme und Anlagen für das Abfüllen und Aufbereiten von Schüttgütern aller Art konzipiert, produziert und vertreibt. HAVER & BOECKER ist im Rahmen ihrer Marketingaktivitäten regelmäßig weltweit auf internationalen Messen vertreten, um dort reale Packanlagen zu präsentieren und Kunden und dem Fachpublikum die jeweilige Funktionsweise zu erläutern. Ein Problem stellte bislang dar, dass die Größe der Exponate – Abmessungen von Packanlagen erreichen häufig 10 m, komplette Verpackungslinien 100 m oder mehr – die Messepräsentation schwierig oder sogar unmöglich gestaltet. Um dieses Problem zu lösen, erarbeiteten die Unternehmensbereiche Innovationsmanagement und Marketing ein Konzept, die Packanlagen rein virtuell zu präsentieren. Die neue Form des Messeauftritts sollte erstmals auf der weltführenden Verpackungsmesse interpack in Düsseldorf vorgestellt werden, bei der HAVER & BOECKER anstelle von sonst üblichen fünf bis sechs Anlagen nur eine reale Anlage und ergänzend 3-D-Modelle in einer VR-Anlage präsentierten wollte. Die konkreten Anforderungen, die an die messetaugliche VR-Anlage gestellt wurden, waren die folgenden:

- **Mobilität:** Die Anlage muss transportabel und einfach auf- und abzubauen sein.
- **Robustheit:** Die Anlage muss den Umweltbedingungen und dem Dauerbetrieb einer Messe gewachsen sein.
- **Einbautiefe:** Da die Anlage in eine begehbare Umhausung eingebaut werden soll, muss die räumliche Tiefe der Anlage minimal sein.
- **Bedienbarkeit:** Die Bedienung muss mit geringem Schulungsaufwand durch Messepersonal erfolgen können.
- **Simulation:** Die Software muss in der Lage sein, alle gewünschten Verpackungsanlagen und die darin ablaufenden Prozesse der realen Maschinen abzubilden.
- **Interaktion:** Es muss eine Echtzeit-Interaktion mit den Modellen möglich sein, um adäquat auf die Informationswünsche der Kunden reagieren zu können.
- **Kosten:** Die Kosten der Gesamtanlage müssen in einem sinnvollen Verhältnis zu dem zu erwartenden Nutzen stehen.

3 Stand der Technik

VR-Anlagen zur Darstellung der Simulation von automatisierten Produktionsanlagen werden wissenschaftlich erforscht, kommerziell angeboten und industriell eingesetzt. Die im wissenschaftlichen Bereich diskutierten Konzepte und Methoden beschreiben interessante, zukunftsweisende Ansätze [RLS08], [DLF07], sind aber in der Regel nur prototypisch realisiert, demzufolge kompliziert zu handhaben und dadurch kaum geeignet für einen industriellen Messeinsatz. Die kommerziell angebotenen Systeme hingegen können sehr wohl von Nicht-Experten bedient werden. So bietet die ICIDO (ESI Software Germany GmbH) aus Stuttgart verschiedene stationäre Anlagen und die ci-base Software GmbH aus Bremen auch mobile Lösungen an. Die zugehörige Software scheint jedoch primär auf die Präsentation von Produkten ausgerichtet – weniger auf Prozesse. Ineinander verzahnte Abläufe, wie sie z. B. in Verpackungsanlagen anzutreffen sind, sind eher die Ausnahme. Einige industrielle Nutzer haben hingegen seit langem erkannt, dass die VR auch zur Darstellung technischer Prozesse sinnvoll genutzt werden kann [AHO+06]. Bezüglich des Standes der Technik bleibt festzuhalten, dass kein VR-System verfügbar war, welches alle Ansprüche erfüllen konnte.

4 Das neuartige VR-System

Basierend auf den oben genannten Anforderungen wurde ein neuartiges VR-System konzipiert und realisiert.

4.1 Stereoprojektion

Um die Anforderungen an die Einbautiefe zu erfüllen, wurde ein Ultra-Weitwinkel-Projektor mit einem Projektionsverhältnis von 0,19:1 eingesetzt (Sanyo PDG-DWL2500). Der Projektor arbeitet mit einer Auflösung von 1.280 x 800 Bildpunkten (Bildformat 16:10) und erreicht 2.500 ANSI Lumen, was unter kontrollierten Lichtbedingungen ausreicht. Die Projektion kann auf eine normale weiße Wand erfolgen, was den Messebau erleichtert. Das Gerät wird im Stereomodus betrieben und erzeugt dann Bilder für das rechte und das linke Auge mit jeweils 60 Hz. Das Gerät ist vom Hersteller für den geschäftlichen Einsatz konzipiert und sollte daher Dauerbelastungen standhalten. Für den Aufbau wurde eine Bildbreite von 2,80 m bei einer Höhe von 1,75 m gewählt. Der Projektor steht dann ca. 50 cm von der Wand entfernt. Ferner fiel die Entscheidung zu Gunsten einer Aufprojektion, um eine halbtransparente Spezialwand für eine Rückprojektion zu vermeiden.

Der Projektor wurde über eine NVIDIA QUADRO-Grafikkarte mit dem NVIDIA 3D VISION-System mit Bildern beschickt. Bei diesem System kommen aktive Shutter-Brillen zum Einsatz, die mit der Darstellung über Infrarotlicht oder WLAN synchronisiert werden. Aufgrund bekannter Probleme mit aussteller-eigenen WLAN-Netzen auf Messen wurde die Variante mit Infrarotlicht gewählt. Sowohl die geplante Einbausituation als auch die bei der Projektionsgröße sinnvolle maximale Anzahl von Betrachtern ließen keine Probleme mit Infrarot erwarten. Ferner resultiert eine einfache Installation des Gesamtsystems. Die Shutter-Brillen selbst haben bei voller Aufladung eine Betriebsdauer von 40 Stunden, was ggf. für die volle Dauer einer Messe ausreichen kann. Eine Kontrolllampe an der Brille zeigt eine verbleibende Restbetriebsdauer von unter zwei Stunden an, was hilft, den ungeplanten Abbruch von Kundengesprächen zu verhindern. Ein Wiederaufladen der Brillen ist in nur drei Stunden über einen USB-Verteiler (Switch) möglich.

Sowohl der Projektor als auch die 3-D-Technologie sind Produkte an der Grenze zwischen dem Consumer- und dem Business-Bereich, was einen stabilen Einsatz bei niedrigen Kosten ermöglicht. Sollte während des Messebetriebs der Projektor oder dessen Lampe ausfallen, kann selbst von ungeschultem Personal in kürzester Zeit ein Ersatzprojektor eingebaut werden.

4.2 Simulation

Während für die Stereoprojektion die genannten custom-of-the-shelf-Lösungen die gestellten Anforderungen erfüllen und dabei kostengünstig sind, muss für die eigentliche Erzeugung der Bilder eine Spezialsoftware verwendet werden, da mit keiner verfügbaren VR-Software automatisierte Produktionsanlagen hinreichend genau modelliert und simuliert werden können.

Zum Einsatz kommt hier das 3-D-Simulationssystem CIROS [RWS10], das primär der technisch exakten Simulation von Anlagen und der Virtuellen Inbetriebnahme dient [RSW11], aber auch bereits für ortsgebundene VR-Systeme verwendet wurde [RW10]. Für das beschriebene Problem wurde die Software derart erweitert, dass Stereobilder in verschiedenen Modi und mit einstellbaren Stereo-Parametern von einer einzigen Softwareinstanz auf einem einzigen Rechner oder Laptop in Echtzeit erzeugt werden können. Dies wird insbesondere möglich, indem die „NVIDIA Quadro Quad Buffered Professional Stereo Technology“ genutzt wird. Die Verwendung nur eines Rechners erleichtert den Messeinsatz und vermeidet zusätzliche Kosten. Die Grafik-Performance der Software ermöglicht die flüssige Stereo-Darstellung (> 25 fps) von über fünf Millionen Facetten auf einem Consumer-Rechner während der laufenden Simulation.

Abbildung 1 zeigt links den strukturellen Aufbau des Simulationssystems. Der Simulationskern verwaltet das Umgebungsmodell und die elektrischen Eingänge und Ausgänge und stellt einfache kinematische Basismechanismen zur Verfügung. Über die Steuerungsschnittstelle können verschiedene, in der Automatisierungstechnik relevante, Steuerungen berücksichtigt werden. Für das vorliegende Problem wird nur die interne Robotersteuerung benötigt, die in anderen Fällen einsetzbaren Schnittstellen sind grau dargestellt.

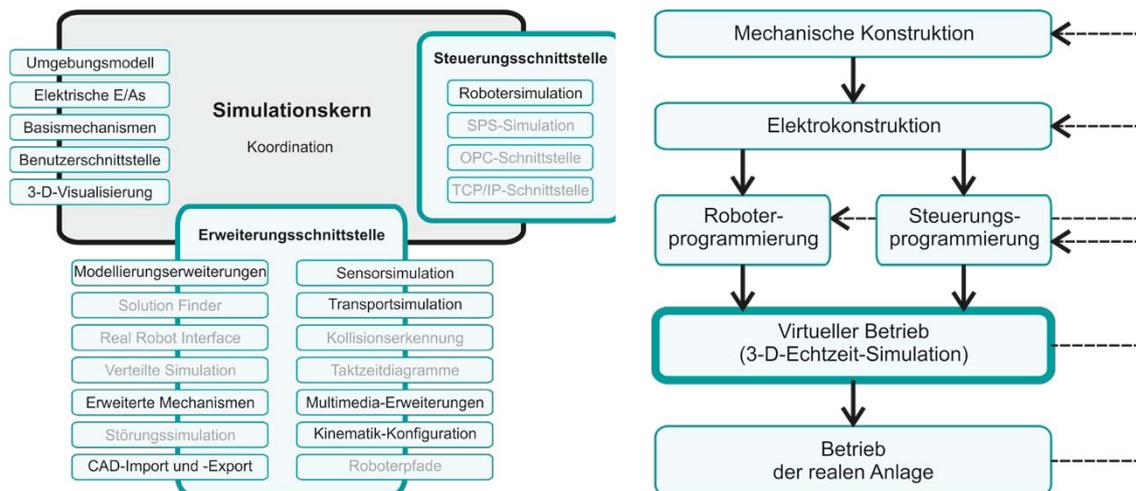


Abbildung 1: Struktur des Simulationssystems und Ablauf der Virtuellen Produktion.

Neben den Kernfunktionalitäten können erweiterte Features modular genutzt werden. Für die Modellierung, Kinematisierung und Simulation der Verpackungsanlagen waren die in Abbildung 1 links nicht grau gedruckten Erweiterungen erforderlich. Im Rahmen der Modellerstellung wurden originale CAD-Daten der Anlagen importiert, kinematisiert und parametrisiert. Der Ablauf der Modellierung folgte dabei dem bekannten Ablauf der Erstellung einer virtuellen Anlage im Rahmen der Virtuellen Produktion (Abbildung 1 rechts). Ein großer Unterschied zur üblichen – technisch korrekten – Vorgehensweise ist hier, dass die virtuelle Anlage nicht zwingend alle für den realen Betrieb relevanten Elemente und Steuerungen enthalten muss. Da die Simulation der Modelle nur die prinzipielle Funktionalität widerspiegeln soll, können die Prozesse und Steuerungsprogramme entsprechend vereinfacht werden. Der Vorteil der schnellen Modellerstellung wird dann jedoch damit erkauft, dass die Modelle für keine weiteren – technischen – Zwecke wiederverwendet werden können. Hier ist vor Beginn der Modellierung eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen.

Eine besondere Bedeutung für die Simulation der fünf Verpackungsanlagen kommt der Transportsimulation zu, da in allen Anlagen verpackte Güter – mehrere hundert gleichzeitig – zwischen den einzelnen Bearbeitungsstationen transportiert werden. Eine flexible und einfache Modellierung dieser Prozesse ist ebenso wichtig wie die zeitgenaue und schnelle Simulation. Die Konzepte zur Modellierung [WR10a] und Simulation [WR10b] der Transportprozesse wurden bereits an anderer Stelle veröffentlicht.

4.3 Interaktion

Während des Betriebs der VR-Anlage auf einer Messe soll ein Bediener oder ein Kunde die Möglichkeit haben, mit dem in Echtzeit simulierten Modell zu interagieren. Diese Interaktion soll folgende Punkte umfassen:

- Navigation: Der Nutzer kann sich frei im Raum bewegen und beliebige Punkte „anfliegen“.
- POIs: Vordefinierte Points-of-Interest können direkt angefliegen werden.
- Aktionen: Auf Knopfdruck werden bestimmte Aktionen im Simulationsmodell ausgelöst, z. B. Prozesse gestartet.
- Freie Interaktion: Objekte können beliebig manipuliert werden.

Als Eingabegerät zur Interaktion wurde eine Spacemouse ausgewählt. Mit dieser kann mit sechs Freiheitsgraden navigiert werden. Des Weiteren stehen Taster zur Anfahrt von POIs oder zur Anwahl von Aktionen zur Verfügung. Für ungeübte Nutzer kann die freie Navigation erleichtert werden, indem einige Freiheitsgrade der Spacemouse gesperrt werden. Die Aktionen können das Auslösen programmierter Simulationssequenzen im Modell, das Starten eines vorprogrammierten „Rundflugs“ durch die Anlage und das Einspielen von Multimedia-Inhalten, z. B. extern erstellten 3-D-Videos, umfassen. Die freie Interaktion entspricht im Wesentlichen einer Modellierung in der VR während der Simulation. Diese ist prinzipiell möglich, sollte aber nur von versierten Nutzern durchgeführt werden, da die Steuerungsprogrammierung in den seltensten Fällen auf alle möglichen Rekonfigurationen des Modells ausgelegt ist. Außer über die Tasten der Spacemouse können die POIs und Aktionen auch über der Anlagenansicht überlagerte Schaltflächen oder im Modell befindliche Taster und Schalter ausgelöst werden. Auf diese Weise wird eine realistische Maschinen-Bedienung möglich.

5 Die Verpackungsanlagen

Um einen Eindruck vom Umfang und von der Komplexität der fünf modellierten Verpackungsanlagen von HAVER & BOECKER zu vermitteln, sollen zwei ausgewählte nun kurz erläutert werden.

Abbildung 2 zeigt den intern bezeichneten „Full-Liner“ der Feige Filling GmbH, die zur HAVER & BOECKER Gruppe gehört. Die originalen CAD-Daten zu diesem Modell wurden importiert und kinematisiert. Die Sicherheitsumbauung kann als Aktion ausgeblendet werden und gibt den Blick auf den Produktions- und Abfüllprozess frei. Aus einem wieder befüllbaren Magazin werden Eimer automatisch entnommen und mit einer speziellen Taktung zu den Abfüllstationen transportiert. In den Stationen wird der Befüllungsprozess visualisiert. Abschließend wird jedem Eimer von einem Industrieroboter ABB IRB 120 ein in einem Magazin entnommener Deckel aufgelegt, der in einer nachgelagerten Station aufgespresst wird. Der gesamte Prozess läuft endlos und kann beliebig angehalten und wieder gestartet werden.

Abbildung 3 zeigt eine Anlage zur Befüllung, Palettierung und Einlagerung von Säcken. Die Gesamtabmessung der Anlage beträgt 235 x 135 m. Die Säcke werden von mehreren HAVER FFS 2500 Abfüllanlagen parallel befüllt und Palettiermaschinen zugeführt. Im System sind bis zu 200 Säcke gleichzeitig in Bewegung. In den Palettierern werden Paletten mit originalen Packmustern bestückt und dann über Transportstrecken und ein Liftsystem in die Einlagerungshalle gefördert. Dort arbeiten zwei AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) und lagern die Paletten in ein Hochregallager ein. Der gesamte Prozess ist vollständig abgebildet.



Abbildung 2: Produktions- und Verpackungssystem der Feige Filling GmbH.

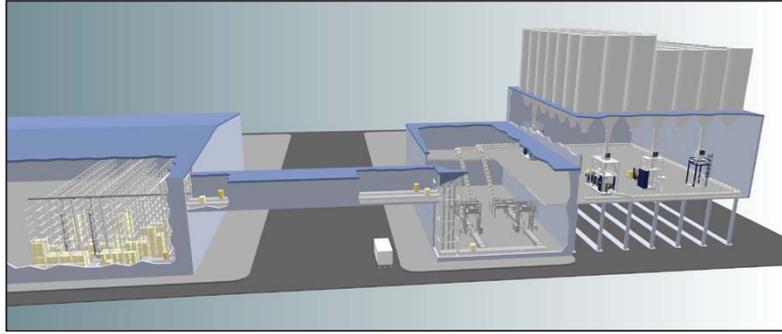


Abbildung 3: Verpackungslinie mit Befüllung, Palettierung und Einlagerung von Säcken.

Bei den vorgestellten Modellen wird nicht ein programmierter Animationsplan abgearbeitet, sondern es wird eine Simulation durchgeführt. Dies bedeutet, dass z. B. ein Sack aus dem laufenden Prozess entnommen werden kann und der folgende Schritt dann auf den nächsten wartet – und nicht etwa ins Leere greift.

6 Messeinsatz

Alle fünf Modelle wurden anstelle realer Anlagen auf dem Messestand von HAVER & BOECKER auf der interpack in Düsseldorf gezeigt. Um kontrollierte Lichtverhältnisse und einen kontrollierten Zugang des Publikums zu gewährleisten, wurde die VR-Anlage in eine Umhausung eingebaut. Der kontrollierte Zugang war wichtig, um die Ausgabe und Rücknahme der aktiven Shutter-Brillen für die Besucher zu regeln. Der Projektor wurde an der Decke montiert, so dass die Umhausung in ihrer vollständigen Länge begangen werden konnte. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Fotos des Aufbaus. Während der sieben Tage andauernden Messe erwies sich das System als sehr robust – es kam zu keinen Ausfällen der Hardware oder der Software. Sowohl bei den Standbesuchern als auch beim Messepersonal stieß die neue Form der VR-Präsentation auf positive Resonanz.



Abbildung 4: Begehbare VR-Anlage auf der Industriemesse interpack.



Abbildung 5: Begehbare VR-Anlage auf der Industriemesse interpack.

7 Zusammenfassung

Es wurde ein neuartiges VR-System konzipiert und realisiert, welches sich für einen unkomplizierten mobilen Messeinsatz eignet. Gegenüber etablierten Systemen liegen die Vorteile in kompakteren Abmessungen, höherer Mobilität, einfacherer Bedienbarkeit und geringeren Anschaffungskosten. Aufbau und Bedienung können von Nicht-VR-Experten durchgeführt werden. Die verwendete Software ist geeignet, verschiedenste automatisierte Verpackungsanlagen bezüglich der ablaufenden Prozesse zu simulieren. Der Anwendungsbereich von mobilen VR-Systemen wird damit von der reinen Produktpräsentation auf die Darstellung von Prozessen im Bereich der Automatisierungstechnik ausgedehnt. Das VR-System wurde erfolgreich über die gesamte Dauer der Messe interpack eingesetzt.

Literatur

- [Br02] Bracht, U.: Ansätze und Methoden der Digitalen Fabrik. In: Simulation und Visualisierung. Universität Magdeburg, 2002.
- [RLS08] Reinhart, G.; Lacour, F.; Spitzweg, M.: Einsatz eines Physikmodells zur Simulation des Materialflusses einer Produktionsanlage, In (Gausemeier, J.; Grafe, M.; Hrsg.): Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 232, Paderborn, 2008.
- [DLF07] Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Fischer, M.: Ein ganzheitlicher Ansatz zur immersiven 3D-Materialflusssimulation innerhalb der Digitalen Fabrik. In (Gausemeier, J.; Grafe, M.; Hrsg.): Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 209, Paderborn, 2007.
- [AHO+06] Aurich, J. C.; Hagen, H.; Ostermayer, D; Bertram, M.: VR-unterstützter KVP-Workshop – Neues Anwendungsfeld des Virtual Engineering. wt Werkstatttechnik online, Jahrgang 96, Heft 1/2, 2006.
- [RWS10] Roßmann, J.; Wischnewski, R.; Stern, O.: A Comprehensive 3-D Simulation System for the Virtual Production, In: Proceedings of the 8th International Industrial Simulation Conference (ISC). Budapest, Ungarn, 2010.
- [RSW11] Roßmann, J.; Stern, O.; Wischnewski, R.: Virtuelle Inbetriebnahme von Transportsystemen – Werkstückträgertransfersysteme simulieren. atp edition, Ausgabe 06/2011, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2011.
- [RW10] Roßmann, J.; Wischnewski, R.: Vom Produkt zur Produktion. Virtual Reality Magazin, Heft 3, WIN-Verlag Vaterstetten, 2010.
- [WR10a] Wischnewski, R.; Roßmann, J.: Modelling of Track Bound Transport Systems for the Virtual Production. In: Proceedings of the 21th IASTED International Conference Modelling and Simulation (MS). Banff, Alberta, Kanada, 2010.

- [WR10b] Wischnewski, R.; Roßmann, J.: A New Hybrid Time-Based / Event-Based Simulation Method for Transport Systems Considering Physical Effects. In: Proceedings of the IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM). Singapur, 2010

WorldInsight®, das Visualisierungstool der Deutschen Bahn

Dipl.-Ing. Kim Jung

T.SVD 6

DB Systel GmbH

Jürgen-Ponto-Platz 1

60329 Frankfurt am Main, Germany

kim.jung@deutschebahn.com

Abstract: Die Deutsche Bahn muss, um ihrer Rolle als Verkehrsdienstleister und Infrastrukturunternehmen gerecht zu werden, tagtäglich komplexeste Prozesse und Verfahren erfüllen. Viele Mitarbeiter mit unterschiedlichsten Ausbildungen und Tätigkeitsbereichen müssen in ihren Einsätzen harmonisiert werden. Die Bahn verfügt über komplizierteste Technik, die überwacht, gewartet und im Bedarfsfalle repariert werden muss. Dabei steht die Bahn noch im Fokus der Medien und der Politik. Um diese Prozesse zu verschlanken und für alle innerhalb und außerhalb des Konzerns „begreifbar“ zu machen, entwickelt die DB Systel GmbH, der ICT-Dienstleister der Deutschen Bahn, ein Visualisierungs-Tool, das auf Basis einer virtuellen Kopie der realen Welt Prozesse in Echtzeit und 3D abbilden kann, ein Tool namens „WorldInsight“.

1 Komplexe Aufgaben sind nicht zweidimensional

Harmonisierung von Prozessen und Kommunikation sind die größten Herausforderungen für einen großen Konzern. Insbesondere die Deutsche Bahn, die eben sehr viel mehr ist, als nur ein Anbieter von Bahnreisen, sieht sich auf Grund der vielfältigen Tätigkeitsfelder innerhalb und außerhalb des Konzerns vor immer

größere Herausforderungen gestellt. Es liegt an der Komplexität der Aufgaben und vor allem an der massiven Kommunikation, die für den Betrieb von über 34.000 km Schiene mit vielen hunderttausenden von technischen Installationen notwendig ist. Hinzu kommt, dass technische Anforderungen in rasanter Geschwindigkeit wachsen: Das Wissen der Welt verdoppelt sich derzeit in etwa alle fünf Jahre, die Technik geht dieses Tempo mit. Die Bahn muss dabei unterschiedlichste Protagonisten aus den verschiedensten Tätigkeitsbereichen, mit unterschiedlichsten Ausbildungen unter einen Hut bekommen.

Um dies umsetzen zu können, muss eine einheitliche, universelle „Sprache“ für alle gefunden werden. (Haben Sie sich beispielsweise einmal einen Plan eines Ingenieurs für Leit- und Sicherheitstechnik angesehen? Sie werden diesen nicht verstehen und genauso geht es ca. 90% der Mitarbeiter der Deutschen Bahn, denn diese sind mit komplett anderen Themen befasst.) WorldInsight ist eine der möglichen Lösungen für diese Anforderung.

Die DB System möchte diesem Sachverhalt begegnen und hat zu diesem Zweck einen zunächst utopisch klingenden Plan ins Auge gefasst: Die Welt um die Bahnlinien herum sowie alle anderen bahntechnischen Anlagen sollen in einem virtuellen 3D-Modell abgebildet werden, in einer Darstellungsqualität und Granularität, die der Realität sehr nahe kommt, denn nichts ist so verständlich, wie die reale Welt. Aus einem Planzeichen auf dem oben zitierten Plan wird damit plötzlich ein Signal. Auf diese Weise wird die Exklusivität des Wissens in die Breite getragen und von jedermann verstanden. Die Kommunikation der Deutschen Bahn wird dreidimensional.

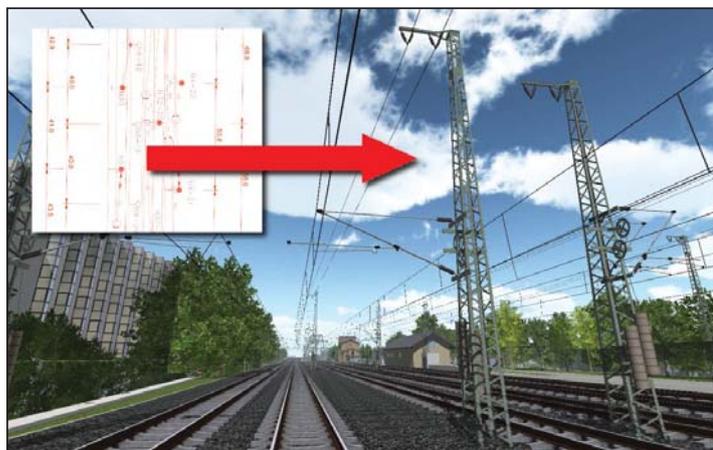


Abbildung 1: Aus einem Planzeichen wird ein Mast

Nicht genug damit, soll diese Welt auch noch „durchlaufen“ werden können, ähnlich wie eine virtuelle Welt in einem modernen Computer-Game. Man verspricht sich hier einen Mehrwert in der Orientierung innerhalb der virtuellen Bahnwelt. Neben der äußerst realistischen Abbildung der realen Welt in einem virtuellen 3D-Modell, stellt entsprechend diese „3D-Echtzeit“-Technik, also die Technik, die eine völlige Interaktivität in Echtzeit bietet, das nächste Alleinstellungsmerkmal dar. Neben dem Umstand, dass sich der Nutzer frei in den virtuellen 3D-Modellen bewegen kann, ist auch eine Interaktion mit der virtuellen Welt möglich. So können die Szenen, die durchlaufen werden, zeitgleich verändert werden, Dinge können verschoben, umgefärbt oder etwa deformiert werden, es können Planungen ein- und ausgeblendet werden und so weiter.

2 Auch Ingenieure und Bürger brauchen drei Dimensionen

Diese Alleinstellungsmerkmale sind es, die eine solche Software für den Bahnkonzern interessant machen. Entsprechend haben sich bereits nach kurzer Zeit viele Anwendungen der Software herauskristallisiert; viele der Bahntöchter, aber auch andere Unternehmen interessieren sich zunehmend für WorldInsight bzw. haben bereits Aufträge zur Umsetzung von Anwendungen in Auftrag gegeben:

- WorldInsight dient der Unterstützung ingenieurtechnischer Planungen; Komplexe Planungen werden sichtbar gemacht, verschiedene Gewerke abgestimmt, Planungsfehler vermieden. Die Anwendungen gehen von Kollisionsprüfungen über Schallausbreitungssimulationen bis hin zur Datenkonsolidierung (Daten werden auffindbar durch einfaches Anklicken des gewünschten Objekts).



Abbildung 2: Wird der Lokführer das geplante Signal überhaupt sehen können?
Signalsichtsimulation in 3D

- Es dient der Kommunikation sowie der politischen Mediation. Veränderungen der Umwelt werden plastisch sichtbar gemacht, die Öffentlichkeit adäquat über Planungen informiert. Die Auswirkungen einer Planung werden im 3D-Modell direkt sichtbar gemacht. Dies hilft nicht nur bei der Überzeugung der Öffentlichkeit für die Planung, sondern auch der Rückversicherung der Planer sowie der Entscheidungsfähigkeit des Managements.



Abbildung 3: Komplexe Streckenplanung mit Brückenbau - Vorher / Nachher

- WorldInsight simuliert technische Abläufe und Prozesse und macht diese plastisch sichtbar. So ist bei den Logistikern beispielsweise geplant, in WorldInsight Warenströme in Hochregallagern, bei den Bahnhofsbetreibern die Kapazitäten der Bahnsteige sowie die optimale Position der Überwachungskameras zu simulieren und zu optimieren.
- Es können Daten und Informationen an die in der virtuellen Szene dargestellten Objekte „angebracht“ werden. Das 3D-Modell von WorldInsight wird damit zur Suchmaschine für Informationen. Insbesondere für Betreiber großer Liegenschaften ergibt sich hier ein gigantischer Mehrwert: Werden Informationen zu einem technischen Bauteil gesucht, so muss man in Zukunft nicht mehr in bezugslosen Datenbanken danach suchen, sondern so intuitiv wie nur möglich, virtuell direkt vor Ort gehen, auf das entsprechende Objekt klicken, und man erhält das Gewünschte. Insbesondere für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten ergeben sich dadurch riesige Einsparpotenziale. Telefonische Beschreibungen, zum Beispiel von Schäden, die dann erst nicht gefunden werden – schließlich wird dann noch nach dem Auffinden festgestellt, dass die Ausrüstung nicht passt – sind Geschichte. Wird die Information, zum Beispiel eines Schadens, im virtuellen 3D-Modell abgelegt, so kann sich der Reparaturdienst ein genaues Bild der Lage und der Art des Schadens machen und vermeidet so erhebliche Fehlzeiten, die durch Suchen und falsche Ausrüstung entstehen.

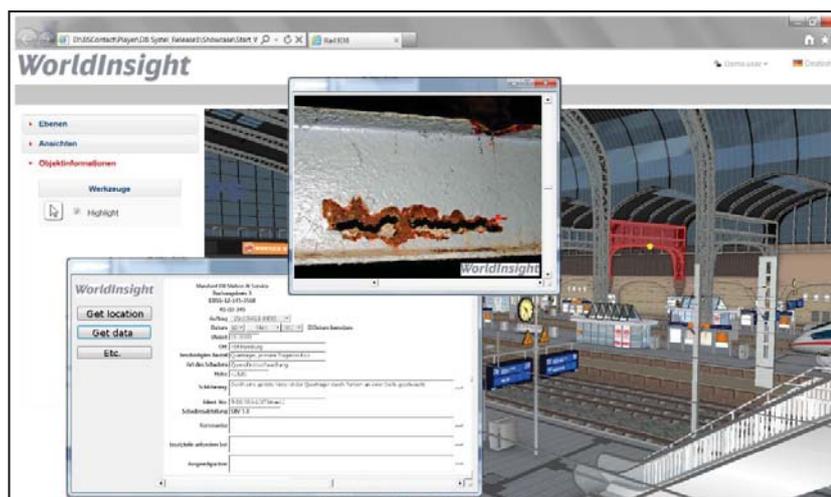


Abbildung 4: Nie mehr eine Schadensstelle vor Ort suchen und falsch ausgerüstet sein; Ordentliche Vorbereitung eines Einsatzes im virtuellen 3D-Modell

3 Eine ganze Welt in 3D

Die 3D-Modellierung von WorldInsight ist spezialisiert auf die Darstellung realer Räume sowohl im Bestand als auch in Planung. Damit „die Dinge auch zusammenpassen“, sind alle 3D-Modelle, die für WorldInsight erstellt werden, georeferenziert, das heißt sie haben einen realen Standort. Dieser Standort wird auf einem WorldInsight-eigenen virtuellen Globus dargestellt. Auf diese Weise ist es möglich, Daten aus unterschiedlichsten Quellen auf dem Globus zusammenzufassen, vorausgesetzt, es handelt sich um Geodaten. Vom Weltall ausgehend ist es so möglich, sich der gewünschten Liegenschaft zu nähern, bis man auf der virtuellen Straße landet und sich schließlich auf dem virtuellen Globus fußläufig weiter bewegen kann.



Abbildung 5: Der virtuelle Globus von WorldInsight

Wie soll es aber nun möglich sein, eine ganze Welt in einer der realen Welt weitgehend entsprechenden Auflösung zu erzeugen? Es handelt sich natürlich um ein sukzessives Verfahren, das heißt nicht die ganze Welt soll auf einmal in hoher Auflösung modelliert werden, sondern immer stets das Stück Welt, das einer solchen Modellierung auf Basis eines der oben genannten Anwendungsfelder bedarf. Die Modellierung der Welt muss also möglichst kostensparend vor sich gehen, damit diese Aufgabe auch in dem sukzessiven System überhaupt umsetzbar ist. WorldInsight verfügt deshalb über zwei wesentliche eigene Verfahren der 3D-Modellierung, der Übertragung von realen Räumen, seien es bestehende, seien es geplante, in 3D-Modelle:

- Die parametrisierte Modellierung: Es handelt sich hierbei um eine Methode, 3D-Objekte aus Datenbanken in Echtzeit ausschließlich unter Nutzung von Parametern (z. B. Daten aus Geografischen Informationssystemen) voll automatisch zu ganzen Welten zusammen zu setzen. Diese Methode funktioniert insbesondere in Bereichen, die sich aus standardisierten Bauteilen zusammensetzen, wie beispielsweise Industrie- oder eben Bahnanlagen, aber auch in Bereichen mit hochwertigem Datenbestand, wie beispielsweise Katasterdaten mit einer Baumkataster-Fachschiene, die Informationen zu Baumtyp, Baumhöhe, Stamm- und Kronendurchmesser enthält. Der Baum kann diesen Werten entsprechend automatisiert in die Landschaft gesetzt werden.



Abbildung 6: Parametrisiert erzeugte Gleisstrecken

- Die Modellierung unter Zuhilfenahme der terrestrischen Fotogrammetrie: Aus Fotografien, die mit einer handelsüblichen Kamera gemacht wurden, können Maße errechnet werden. Zur Berechnung wird nur ein einziges Referenzmaß benötigt. Mit Hilfe der von DB Systel ausgeklügelten Algorithmik ist es möglich, beispielsweise Häuser in einer Genauigkeit von 10 cm zu modellieren.



Abbildung 7: Modellierung mit Hilfe der terrestrischen Fotogrammetrie

Die für WorldInsight entwickelten Modellierungsmethoden machen es auf Grund der Qualität und dem Maß der Automatisierung möglich, große Areale, wie z. B. ganze Stadtbereiche in hoch realistische virtuelle 3D-Modelle zu übertragen. Die 3D-Modellierung weist dabei folgende Alleinstellungsmerkmale auf:

- **Auflösung:** Modellierungsauflösung von standardgemäß 10 cm, damit zehn bis tausend Mal höhere Auflösung als der Vergleichsmarkt; wenn gewünscht kann die Auflösung sogar bis in den Sub-Millimeter-Bereich verfeinert werden
- **Bodenmodellierung:** Volle Ausmodellierung des Bodens inkl. verschiedener Bodenbeläge, terrestrischer Elemente (Treppen, Rampen etc.), Bordsteinkanten (ggf. sogar mit Absenkungen) und kompletter Ausstattung (Bäume, Zäune, Verkehrszeichen, Ampeln, Laternen, Bänke, Pollern, Briefkästen, Litfaßsäulen etc.)
- **Innenmodellierung:** Räume können mit den gleichen Methoden in sogar noch höheren Auflösungen auch in Form einer Innenansicht modelliert werden
- **Modellierungsmethoden:** Die zwei von DB Systel eigenentwickelten Modellierungsmethoden weisen für die Auflösung der Modelle hohe Automatisationsgrade mit stark wachsender Tendenz und damit auch attraktive Preise auf

4 Einfach mal loslaufen (und den Ball ins Tor schießen)

Wie bereits beschrieben, ist die Selbstbestimmung des Nutzers vorrangig: Er soll entscheiden, wohin er gehen oder was er als nächstes tun möchte. WorldInsight basiert aus diesem Grunde auf modernster Computerspiele-Technologie. Neben der Freiheit für den Nutzer ermöglicht diese Technik auch die gleichen grafischen und interaktiven Möglichkeiten wie ein Computerspiel, also auch die Möglichkeit, einen virtuellen Ball in ein virtuelles Tor zu treten. Was bietet also WorldInsight in dieser Hinsicht?

- Freies Durchbewegen: Die virtuellen 3D-Welten von WorldInsight können analog zu einem modernen Computerspiel mit Hilfe von Maus und Tastatur (ggf. auch weitere Eingabemedien) durchlaufen werden
- Veränderbarkeit der 3D-Welt: Während man sich durch die 3D-Welt bewegt, kann die Szene interaktiv verändert werden (Einblenden verschiedener Varianten eines 3D-Elements, Verschieben von 3D-Elementen, Hinzufügen von 3D-Elementen, Farbwechsel, Deformierung etc.)
- Simulationen auch komplexester Abläufe und Prozesse mit beweglichen bzw. veränderlichen 3D-Elementen, von Verkehrssimulation bis hin zu Ablaufsimulationen in Produktionshallen etc.



Abbildung 8: Wo ist der optimale Standort für ein Signal?

5 Alles Schöne nur für die Bahn?

Nein. WorldInsight wird auch erfolgreich an andere Kunden verkauft und nicht nur innerhalb des Konzerns eingesetzt. Kundensegmente sind Verkehrsunternehmen aller Art, Energieversorger, öffentliche Hand, Immobilienwirtschaft, Liegenschaftsbetreiber (Industrieparks, Flughäfen, Häfen, Logistiker etc.) und viele mehr.

6 Und es geht nicht los bei Null

WorldInsight versteht sich als Visualisierungsmaschine für Daten, die auf Kundenseite bereits vorhanden sind. Für WorldInsight müssen entsprechend nicht zusätzliche bzw. redundante Daten angelegt und gepflegt werden. WorldInsight ist ein nach allen Seiten offenes System, das sowohl im Import, als auch im Export den Anschluss an andere Systeme problemlos gewährleistet. Basis hierfür sind:

- Offene Standards: WorldInsight nutzt für die 3D-Produktion offene Standards und liefert, wenn der Kunde dies möchte, die Daten auch in offenen Standards (z. B. CityGML, COLLADA, KMZ, X3D) aus, damit der Kunde bzw. ein Dienstleister des Kunden die Daten selbst weiter bearbeiten oder zu anderen Zwecken einsetzen kann. Auch proprietäre Formate können auf Kundenwunsch geliefert werden (z. B. DWG, DXF, MAX, 3DS, OBJ, FBX).
- Georeferenzierung: Alle 3D-Daten, die für WorldInsight erstellt werden, sind georeferenziert und damit voll kompatibel zu allen Daten, die über eine Geokodierung verfügen. Der große Vorteil: Über die Geokodierung lassen sich die Daten dynamisch verknüpfen und das vor allem voll automatisiert. Derzeit sind über 200 Referenzsysteme implementiert, die Basis des WorldInsight Systems bilden UTM als Projektion sowie WSG 84 und ERTS89 als geozentrische Systeme.

- Datenbankanbindungen: WorldInsight kann auf einfache Art und Weise mit bereits bestehenden Datenbanken verbunden werden. Über solche Datenbankanbindungen lassen sich Daten in der 3D-Welt visualisieren und sogar ganze Prozesse in eine 3D-Welt übertragen und anschaulich darstellen.

Virtuelle Trainingsumgebungen

Simulationsbasiertes Teamtraining für maritime Sicherheit – Was kommt nach der dritten Dimension?

Michael Baldauf¹, Knud Benedict², Gerrit Tuschling², Jens-Uwe Schröder-Hinrichs¹

¹ Forschungsgruppe MaRiSa – Maritime Risk and System Safety

World Maritime University

P.O. Box 500

S-201 24 Malmö, Schweden

mbf@wmu.se

jus@wmu.se

²Institut für Schiffstheorie, Simulation und Maritime Systeme (ISSIMS)

Hochschule Wismar, Bereich Seefahrt Warnemünde

Richard-Wagner-Str. 31

18119 Rostock

knud.benedict@hs-wismar.de

gerrit.tuschling@hs-wismar.de

Abstract: Durch die internationale Seeschifffahrt werden gegenwärtig etwa 90 % des gesamten Welthandels realisiert. Die Welthandelsflotte umfasst zurzeit über 70.000 Schiffe mit mehr als 500 BRT (Brutto-Register-Tonnen). Dazu gehören Frachtschiffe aller Kategorien; Tanker, Passagierschiffe und Fähren, Multifunktions- und Spezialschiffe. Mehr als 12.000 Reedereien organisieren diese weltumspannenden Handels-, Fähr- und Kreuzfahrtlinien. Grundvoraussetzung für wirtschaftlich und ökologisch effiziente Prozessabläufe im maritimen Transport ist die Gewährleistung der Sicherheit aller Systemkomponenten. Die in der letzten Dekade bei zwar abnehmender Zahl von Totalverlusten aber wieder zunehmende Anzahl von Seeunfällen (wie z.B. der ‘Costa Concordia’ oder der ‘Lisco Gloria’), die oftmals auch auf menschliche Faktoren zurückgeführt werden, erfordert u.a. eine signifikante Verbesserung der maritimen Aus- und Weiterbildung.

Ein anerkanntes technisches Hilfsmittel zur Effizienzsteigerung ist der Einsatz von Simulatoren. Der gegenwärtige Stand der Entwicklung und des Einsatzes von Trainingssimulatoren ist durch den umfassenden Einsatz von 3D-Computergraphiken und detaillierten Prozessmodellen für das Teamtraining interkultureller Besatzungen gekennzeichnet. Neueste Entwicklungen zielen auf die Einbeziehung weiterer Dimensionen der menschlichen Wahrnehmung und auf die noch umfassendere Abbildung der Umgebungen in virtueller Realität und ermöglichen den Einsatz und die Untersuchung alternativer Trainingsformen.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die im Rahmen der europäischen Projekte TeamSafety, METPROM und des BMBF-Projektes VeSPerPLUS erzielt wurden, vorgestellt und diskutiert.

1 Einleitung

Eine wichtige Grundlage des auf Arbeitsteilung basierenden, bestehenden globalen Wirtschaftssystems ist der durch verschiedene Transportarten zu gewährleistende sichere und zuverlässige Austausch von Gütern und Menschen. Dem Seetransport, über den 90 % des globalen Warenaustausches abgewickelt werden, kommt dabei sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr eine Schlüsselstellung zu.

Seit dem mehr als einhundert Jahre zurückliegenden Untergang der RMS „Titanic“ ist das Sicherheitsregime in der weltweiten Schifffahrt systematisch aufgebaut, gezielt weiterentwickelt und vervollkommen worden. Neben der Einführung schiffbaulicher sowie immer detaillierter definierten technischen Mindeststandards und Ausrüstungsanforderungen hat sich mit Blick auf das Seeunfallgeschehen und in der Regel immer wieder ausgelöst durch besonders dramatische Schiffskatastrophen – wie nicht zuletzt auch wieder beim Untergang der ‚Costa Concordia‘ zu beobachten [Sch12] – ein umfassendes, durch internationale Konventionen und Gesetzeswerke vorgegebenes maritimes Sicherheitssystem entwickelt.

Neben den technischen Anforderungen zur Gewährleistung eines gleichbleibend hohen Sicherheitsniveaus sind in der jüngeren Vergangenheit immer mehr auch die Anforderungen an den Operateur, den Menschen als wichtigstem Element im sozio-technischen maritimen Transportsystem entwickelt und verbindlich eingeführt worden. Ein Kernelement der auf den menschlichen Faktor abzielenden Sicherheitsstandards sind die Anforderungen an die adäquate Ausbildung und Qualifikation des maritimen Personals, um unter allen Bedingungen des ungestörten, aber insbesondere auch des gestörten Schiffsbetriebes ausreichende Sicherheit zu gewährleisten.

Die qualitativ hochwertige und international harmonisierte maritime Aus- und Weiterbildung trägt insbesondere bei eingetretenen Schadensereignissen zur Minimierung der schädlichen Auswirkungen bei, indem durch schnelle und richtige Entscheidungen und eingeleitete Handlungen z. B. Menschenleben von Besatzungen und Passagieren gerettet oder Totalverluste von Schiffen z. B. nach einer Maschinenraumexplosion verhindert werden.

Unabhängig von allen erzielten technischen Fortschritten auf dem Gebiet der maritimen Verkehrssicherheit im Allgemeinen und auf dem Gebiet der Schiffssicherheit im Besonderen bleiben das Wissen, die Kenntnisse und Fähigkeiten zur Schiffssicherheit fundamentale Grundvoraussetzungen zum Schutz des menschlichen Lebens auf See. Dazu hat die internationale Weltschiffahrtsorganisation IMO (International Maritime Organisation) Rahmenvorgaben für Ausbildungsziele und Lehrinhalte in Form sogenannter Modellkurse (IMO Model Course) entwickelt und verabschiedet. Die in der Regel generisch formulierten Lehrpläne und Trainingsprogramme enthalten auch Hinweise und Empfehlungen zu Lehrmethoden und einzusetzenden Lehrmitteln, wie z.B. Computer- oder sogar Simulations-basierten Werkzeugen.

Mit den steigenden Anforderungen an Ausbildung und Weiterbildung, z.B. in Team- oder Leadership-Training, wachsen auch die Anforderungen an die Hersteller und Anwender von Trainingssimulatoren. Simulationswerkzeuge müssen die Erreichung der Trainings- und Lernziele möglichst optimal unterstützen. Hinsichtlich des Notfalltrainings stehen dabei oftmals Forderungen nach der möglichst umfassenden, realitätsnahen oder sogar echten Simulation im Vordergrund.

2 Entwicklung einer dreidimensionalen virtuellen Simulationsplattform für das Sicherheitstraining

Sicherheitstraining für Schiffsbesatzungen ist eine generelle, auf die Sicherheit der Schifffahrt orientierte Forderung, die in den IMO-Konventionen zum Schutz des menschlichen Lebens auf See (SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea) sowie zur Ausbildung und Zertifizierung von Seeleuten (STCW - International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) verbindlich verankert und detailliert beschrieben ist.

Nach der SOLAS-Konvention sind für Passagierschiffe u.a die wöchentliche Durchführung von Übungen zum Brandschutz, zum Verlassen und zur Evakuierung eines Schiffes vorgeschrieben. Weiterhin wird verbindlich gefordert, dass ein Schiff innerhalb von 30 Minuten evakuiert sein soll. Ausgelöst durch den Untergang der Costa Concordia wurde in SOLAS unter anderem eine Forderung nach der Durchführung der sogenannten Stellmanöver auf Passagierschiffen bereits vor dem Auslaufen neu in den Konventionstext aufgenommen ([Sch12] und [Sch13]).

Neben der SOLAS-Konvention ist das zuletzt 2010 überarbeitete internationale Ausbildungsrahmenwerk der STCW-Konvention von fundamentaler Bedeutung für die Schiffssicherheit. Die IMO hat darin die Notwendigkeit eines adäquaten Sicherheitstrainings erneut hervorgehoben und dessen Bedeutung mit einer Reihe von weitergehenden detaillierten Vorgaben für die maritime Aus- und Weiterbildung Rechnung getragen ([Bai12]).

SOLAS und STCW bilden den rechtlichen Rahmen für alle durch die Schifffahrtsunternehmen zu implementierenden Maßnahmen zur Gewährleistung ausreichender Sicherheits- und Ausbildungsstandards seiner beschäftigten Seeleute ([IMO78], [IMO95] und [IMO10]).

Insbesondere angetrieben durch die kontinuierliche technisch-technologische Weiterentwicklung und andererseits durch das Seeunfallgeschehen und Schadenereignisse werden alle Konventionen ständig überarbeitet und aktualisiert

([Bal12]). Auf europäischer Ebene werden die durch die IMO vorgegebenen Mindestanforderungen dabei in der Regel durch noch strengere und höhere Anforderungen ergänzt.

Mit Blick auf die aktuellen Statistiken zu Zwischen- und Unfällen im Passagierschiffbereich sowie die daraufhin von der IMO und EU verabschiedeten Regelwerke rücken verstärkt auch wieder die maritime Ausbildung und das Training in den Fokus der Diskussion ([Kri95]). Ansätze des computergestützten und simulationsbasierten Trainings mit völlig neuartigen Simulatoren (z.B. [Nik11], [Ben11] & [Fel10]) sollen helfen, bestehende Sicherheitsdefizite zu minimieren bzw. abzubauen oder sogar komplett zu vermeiden. Einer dieser Lösungsansätze beinhaltet die im Rahmen des von der EU geförderten Projektes TeamSafety entwickelte virtuelle 3D-Simulationsplattform, welche insbesondere das effektivere Teamtraining unterstützen soll. Die Simulationsumgebung besteht aus einer Anzahl von integrierten Hardware-Komponenten verbunden mit frei verfügbaren und neu entwickelten Software-Modulen. Zu den wichtigsten Komponenten zählen:

- Ericsson-In-game Communication (integrierte externe SW),
- Spracherkennungsmodul (Projektentwicklung),
- Photon Unity Networking,
- Trivision VRvision Head Mounted Display (Hardware),
- XBox 360 Game Controller (Hardware),
- Vusix Wrap 1200 VR,
- Unity Behaviour Tree Editor sowie
- TeamSafety Simulationssysteme (Feuer, Rauch; Brandbekämpfung, Charakter-Creator und Pathfinding and Navigation).

Die Simulationsplattform wurde für beliebige Teamgrößen konzipiert und mit zunächst acht Arbeitsplätzen realisiert. In der Basisversion steuert jeder Trainee in einem Trainingsszenario über Tastatur, Maus, Joystick o.ä. einen Avatar.



Abbildung 1: Beispiel Visualisierung der ersten Entwicklungsstufe des 3D-Modells einer RoRo-Passagierfähre

Das Training ist vornehmlich auf die Entscheidungsfindung, die Koordination und Kommunikation ausgerichtet.

Die Basiselemente der Simulationsumgebung sind das 3D-Sichtmodell einer RoRo-Passagierfähre, mit begehbaren Räumen und implementierten interaktiven Objekten für die bordgestützte Notfallbekämpfung und das Notfallmanagement (inklusive der an Bord verfügbaren Kommunikationsmittel, der installierten Sicherheitssysteme und Ausrüstungsgegenstände sowie aktiven und passiven Avataren). Schließlich werden in dieser Simulationsumgebung auch generische Modelle zur Nachbildung der physikalischen Prozesse (Rauch-, Hitze-, Brandausbreitung sowie das Löschen von Bränden) für die Simulation zur Verfügung gestellt.

Das implementierte Modell der Fähre enthält die wesentlichen öffentlich begehbaren Räume im Passagierbereich aber auch die nur für Besatzungsmitglieder zugänglichen Räume wie Schiffsbrücke, Maschinenraum, CO₂-Station und so weiter. Zwei ausgewählte Beispiele sind in der folgenden Abbildung enthalten.



Abbildung 2: Simulationsumgebung für das Teamtraining - Visualisierung von Schiffsinnenräumen
(links: Screenshot öffentlicher Passagierbereich – Treppenhaus; rechts: Schiffsbrücke
(mit Wachoffizier – Avatar))

Für das Sicherheitstraining von Besatzungsmitgliedern wurde schließlich zu Test- und Demonstrationszwecken ein Brandszenario implementiert, welches sich inhaltlich an Seeunfallereignissen der jüngsten Vergangenheit (Brände auf RoRo-Passagierfähren, u.a. Pearl of Scandinavia, Lisco Gloria) orientiert.

3 Implementierung zusätzlicher Effekte – Simulation in 4D?

Ein Ziel der Entwicklungsarbeiten der neuartigen Simulationsplattform war es, die reale Umgebung noch umfassender abzubilden und so einen Beitrag zur Erhöhung der Effektivität des Trainings zu leisten.

Zur möglichst realistischen Abbildung von Notfällen wurde eine Reihe von Spezialeffekten in das visuelle Simulationsmodell integriert. Dazu gehören die Darstellung von Feuer, Rauch sowie die Löscheinrichtungen (Sprinkleranlage, Hydranten, Feuerwehrschräuche usw.).

Die als Passagiere implementierten passiven Avatare sind einerseits mit einem vereinfachten Mimik-Modell versehen, um beispielsweise Angst- oder Schockzustände anzudeuten.

Über die grafische Modellierung hinausgehend ist zusätzlich vorgesehen auch das Verhalten der Passagier-Avatare mit genau definierten Handlungsmustern zu verknüpfen und so das Verhalten von Passagieren mit z.B. abwartenden, apathischen oder aber panischen Reaktionen in einem Evakuierungsszenario zu implementieren und Reaktionen seitens des Trainees zu initiieren.

Schließlich wurden erste Versuche zur multidimensionalen, über die alleinige räumliche 3D-Sichtmodellierung hinausgehende Simulationen umgesetzt. Dazu wurde eine in allen Freiheitsgraden frei bewegliche Plattform konstruiert, die über den Simulationskernel angesteuert und bewegt wird (siehe Abbildung 3).

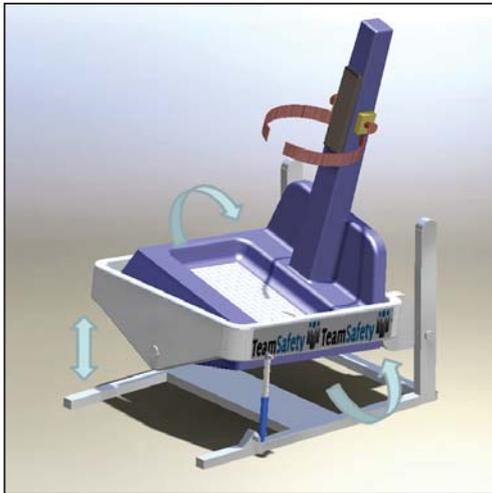


Abbildung 3: Integration einer beweglichen Plattform für das simulationsgestützte Teamtraining

In dieser Weise können z. B. die Bewegungen des Schiffes im Seegang oder auch Schlagseite infolge eines Wassereinbruchs realistisch nachgebildet und durch den Trainee im Übungsszenario nachempfunden werden.

Um diese Anordnung wird eine flexible Wand aufgestellt, die mit weiteren Elementen zur Manipulation der Umgebungseigenschaften und -bedingungen versehen ist, und ebenfalls mit dem Simulationskernel gekoppelt (siehe folgende Abbildung 4).

Für das Simulationstraining wird der Trainee bei dieser Ausführungsversion auf der Plattform (wie in Abbildung 3 (rechts) dargestellt) in geeigneter Form fixiert. Der Trainee befindet sich direkt in der virtuellen Schiffsumgebung, die ihm in die Videobrille (Goggles) als „Augmented Reality“ projiziert wird. In dieser Umgebung bewegt er sich beispielsweise per Joystick-Steuerung durch die Schiffsinnenräume, z.B. als Passagier zur Musterstation oder als Besatzungsmitglied des Feuerlöschtrupps zur Branderkundung auf das Fahrzeugdeck oder als Wachoffizier zur Koordination der Notfallbekämpfung auf die Brücke. Interaktive Objekte der Sicherheitsausrüstungen können später gegebenenfalls auch mittels Daten-Handschuh bedient werden.



Abbildung 4: Vision einer virtuellen 3D-Plattform für das simulationsgestützte Teamtraining auf dem Gebiet der maritimen Sicherheit

Ein weiteres, wichtiges Element der TeamSafety-Simulationsplattform ist die Integration von Heizelementen und Lüftern. Begibt sich der Trainee in der virtuellen Realität zum Brandherd, kann er, wie bei einem realen Einsatz an Bord die zunehmende Hitze direkt erfahren.

4 Implementierung und Test von Trainingsszenarien

Zur Demonstration und zur Untersuchung des Akzeptanzverhaltens des simulationsgestützten Sicherheitstrainings wurde die Basisversion der Simulationsplattform an der World Maritime University aufgebaut und mehrere Simulationsläufe mit einem auf einem realen Unfall basierenden Brandszenario ([Zia11]) mit Studenten der Master-Studienprogramme erfolgreich durchgeführt.

Im Rahmen dieser Versuchsreihe erfolgten außerdem Untersuchungen zu Möglichkeiten der effizienten Bewertung der Trainingsleistungen der beteiligten Trainees.

Hinsichtlich der Akzeptanz von integrierten simulationsgestützten Übungen im Bereich des Sicherheitstrainings zeigte sich bei den Testläufen in den Befragungen ein überdurchschnittlich hohes Akzeptanzverhalten bei den Teilnehmern (er-

fahrene Kapitäne und Schiffsführer, Operateure aus landgestützten VTS Überwachungsstationen sowie Führungskräfte von SAR-Koordinierungsstellen).

Für die Testläufe wurde die Basisversion der Simulationsplattform verwendet, wobei drei Stationen für das Brückenteam, zwei Stationen für den Brandbekämpfungstrupp sowie eine Station als SAR-Koordinierungsstelle genutzt wurden.

Die Übung beinhaltete den Ausbruch eines Feuers auf dem Fahrzeugdeck einer RoRo-Passgierfähre und automatischer Brandauslösung. Es sollte ein Brückenteam gebildet und die Brandbekämpfung organisiert und eingeleitet werden. Durch die Schiffsführung sollten zeitgleich Vorbereitungen zur Evakuierung an Bord eingeleitet und enger Kontakt mit der Landstelle gehalten werden.



Abbildung 5: Teamtraining zur Notfallbekämpfung mit der TeamSafety Simulationsplattform

Während der ersten Testläufe zeigte sich, dass sich die virtuelle Simulationsumgebung hervorragend für das Leadership-Training und das Training zur Situationseinschätzung und Entscheidungsfindung eignet.

Eine unvollkommene und vor allem eine unvollständige Modellierung der Umgebung können jedoch auch sehr schnell zum Misserfolg einer Übung führen. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn der Trainee ständig zwischen der virtuellen und der realen Übungsumgebung wechseln muss, z. B. weil wichtige Unterlagen zur Entscheidungsfindung nicht in der virtuellen, sondern nur in der realen Simulationsumgebung verfügbar sind.

Eine besondere Herausforderung besteht hinsichtlich der Bewertung der individuellen Leistungen der Trainees. Das eigens für die Bewertung entwickelte TECAT-Toolkit eignet sich zwar hervorragend für die Harmonisierung und Objektivierung der Leistungsbewertung von Trainees, ist aber insgesamt noch viel zu kompliziert und personalintensiv, weil faktisch für jeden Trainee auch ein Bewerter zur Verfügung stehen muss. Das Problem verschärft sich zudem, wenn die Simulationsplattform, wie vorgesehen, Internet-basiert verwendet werden würde. In diesem Fall ist eine Bewertung der Leistungen nur anhand aufgezeichneter messbarer Situationsparameter und damit nur sehr eingeschränkt möglich.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ein neuartiger Ansatz zur Integration simulationsgestützter Übungen in das Teamtraining zur maritimen Sicherheit wurde entwickelt, implementiert und in ersten Pilot-Versuchsläufen getestet.

Die neuartige „Game-Engine-basierte“ Simulationsplattform, die aus verschiedenen Hard- und Softwarekomponenten besteht, besitzt ein großes Potential als unterstützendes Trainingswerkzeug um die in SOLAS und vor allem in STCW vorgegebenen Trainings- und Lernziele zu verwirklichen.

Die neuartige Simulationsumgebung zeichnet sich durch die Einbindung zusätzlicher, über die dreidimensionale räumliche Darstellung der Übungsumgebung hinausgehende zusätzliche Simulationskomponenten, wie z.B. von Schiffsbewegungen, vor allem aber von Temperaturunterschieden, aus.

In den Pilotversuchen zeigte sich bei den Nutzern eine überdurchschnittliche hohe Nutzerakzeptanz. Zukünftige Arbeiten müssen sich darauf orientieren, die virtuelle Simulationsumgebung zu komplettieren, so dass ein Wechsel zwischen virtueller und realer Simulationsumgebung vermieden werden kann.

Des Weiteren sind umfangreichere Untersuchungen erforderlich, um die ungenügend gelöste Situation hinsichtlich der objektiven Bewertung der Leistungen der Trainees zu verbessern.

Danksagungen

Die in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten und gewonnenen Erkenntnisse wurden und werden im Rahmen verschiedener nationaler und europäischer Forschungs- und Entwicklungsprojekte ausgeführt. Dazu gehören das durch das BMBF geförderte und durch den Projektträger VDI Technologie Bonn begleitete und unterstützte Projekt VeSPerPLUS, in dem u.a. Arbeiten zur Weiterentwicklung des Safety and Security Training-Simulators durchgeführt werden.

Des Weiteren wurden Teile der hier vorgestellten Arbeiten und Erkenntnisse innerhalb des zum 7. Forschungsrahmenprogramms der Europäischen Union gehörenden Projektes „TeamSafety“ gewonnen. Dieses Projekt wurde durch die European Research Agency im Auftrag der EC betreut und gefördert.

Schließlich werden Teile der vorgestellten aktuell laufenden Arbeiten zur Nutzung und Weiterentwicklung des SST-Simulators im Rahmen des zum Lifelong learning Programm der Europäischen Union, DG Education and Culture, gehörenden LEONARDO Projektes METPROM (Modular Enhanced Training Programme For European Maritime Security Personnel) ausgeführt.

Literatur

- [Bai12] Bai, Jun, Zhang, Bin, Yu Jiajia (2012). Response of Maritime Education and Training to New Requirements of STCW'78 Manila Amendments. In: Mercer, R.; Cross, J.; McCulloch, C. (eds) Expanding Frontiers – Challenges and Opportunities in Maritime Education and Training. The Fisheries and Marine Institute of Memorial University of Newfoundland, Local Executive Committee of IAMU AGA 13, pp 83 - 90
- [Bal13] M. Baldauf, R. Baumler, A. Ölçer, T. Nakazawa, K. Benedict, S. Fischer, M. Schaub (2013). Energy-efficient Ship Operation–Training Requirements and Challenges. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol 7(2) pp 283-290, Taylor & Francis
- [Bal12] Michael Baldauf, Birgit Nolte-Schuster, Knud Benedict, Christoph Felsenstein: Maritime Safety and Security. Learning objective oriented development of simulation exercises', in Maritime Transport V – Technological, Innovation and Research, Fransesco Xavier Martinez de Osés & Marcella Castells i Sanabra [Eds.] IDP: Barcelona, pp 868-887
- [Ben11] K. Benedict, Ch. Felsenstein, O. Puls, M. Baldauf (2011) Simulation for Navigation Interfacing Ship Handling simulator with Safety & Security Trainer (SST) in A. Weintrit: Navigational Systems and Simulators. pp 101-108, Taylor & Francis
- [Car10] Carson-Jackson, J. (2010). A Simulation Instructor's Handbook. The Nautical Institute, London
- [Fel10] Felsenstein, C, Benedict K, Baldauf M. (2010) Development of a Simulation Environment for Training and Research in Maritime Safety and Security, Journal of Marine Technology and Environment/ Vol II/ 2010/ Editura Nautica

- [IMO95] International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers,(1978), as amended in 1995 (STCW Convention), and „Seafarer’s Training, Certification and Watchkeeping Code (STCW Code)“, International Maritime Organization IMO, London
- [IMO78] IMO „International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping of Seafarers, (1978), IMO London
- [IMO10] The Manila Amendments to the annex to the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), Manila, 2010
- [Kri95] Kristiansen, S. (1995). An approach to systematic learning from accidents. The institute of Marine Engineers Conference Proceedings on Management and Operation of Ships – Practical Techniques for Today and Tomorrow (IMAS 95). Volume 107, No. 2. London: The Institute of Marine Engineers
- [Nik11] Nikitakos, N., Sirris, I.: Learning with 3D games. A framework for design and develop educational games in Maritime Education and Training. The Digital Ship Magazine May 2011
- [Pra12] Prasad, Rajendra; Baldauf, Michael; Nakazawa, Takeshi (2011), Collaborative Learning for Professional Development of Shipboard Engineers. International Journal of Engineering Science & Technology; 2011 , Vol. 3 Issue 3: 2308-2319
- [Rig12] Eric Rigaud, Margareta Lützhöft, Albert Kircher, Jens-Uwe Schröder-Hinrichs, Michael Baldauf, Johan Jenvald, Thomas Porathe (2012) Impact: More Than Maritime Risk Assessment. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Elsevier, Volume 48: 1848 – 1854
- [Sch13] Schröder-Hinrichs, J.-U.; Hollnagel, E.; Baldauf, M.; Hofmann, S.; Kataria, A (2013) Maritime Human Factors and IMO Policy. Maritime Policy & Management, Volume 40 (3), 1 May 2013 , pp. 243-260(18)

- [Sch12] Schröder-Hinrichs, J.-U.; Hollnagel, E.; Baldauf, M. (2012) From Titanic to Costa Concordia - a century of lessons not learned. WMU Journal of Maritime Affairs, Springer, Heidelberg, October 2012, Vol. 11 (2): 151-167
- [Sch11] Schröder, J.-U., Baldauf, M., Ghirxi, T. K. Accident investigation reporting deficiencies related to organizational factors in machinery space fires and explosions. Journal of Accident Analysis and Prevention, 2011, 43(3) pp. 1186-1197
- [Zia11] Ziarati, R.; Ziarati, M.; Acar, U. (2011) Developing Scenarios Based on Real Emergency Situations. IMLA 19, Opatija 2011

Eine virtuelle Multi-User Trainingsumgebung für die Feuerwehrausbildung

Frank Poschner, Dieter Wloka

Fachbereich Elektrotechnik/Informatik

Fachgebiet Technische Informatik

Universität Kassel

Wilhelmshöher Allee 71-73

34121 Kassel, Deutschland

poschner@uni-kassel.de

wloka@inf.e-technik.uni-kassel.de

Abstract: Die Ausbildung von Feuerwehrleuten ist zeitintensiv und verlangt vor allem ein hohes Maß an Präsenzzeiten von allen Beteiligten. Umfangreiche praktische Übungen müssen durchgeführt, aber auch im Vorfeld aufwendig vorbereitet werden. Besonders diese Vorbereitungszeit, die der Besprechung und Einübung von Abläufen der Feuerwehrpraxis dient, ist ein geeignetes Einsatzgebiet für E-Learning und Serious Games. Vor diesem Hintergrund wurde in Zusammenarbeit mit Ausbildern der Feuerwehr eine Multi-User Simulation entwickelt, in welcher eine Gruppe von Feuerwehrleuten über ein Netzwerk verbunden kooperativ trainieren kann. In passenden Szenarios und mit virtuellen Ausrüstungsgegenständen, die der Realität nachempfunden sind, können Einsätze einer Feuerwehrgruppe durchgespielt und somit das praktische Training von Auszubildenden effektiv vorbereitet und unterstützt werden. Die virtuellen Übungsteilnehmer werden entweder durch menschliche Spieler gesteuert oder sind virtuelle Feuerwehrexperten, die durch ein angeschlossenes Expertensystem gesteuert werden.

1 Einleitung und Motivation

Im Schlafzimmer eines Wohnhauses ist ein Feuer ausgebrochen. Die Freiwillige Feuerwehr der Ortschaft wird alarmiert, fährt zum Ort des Geschehens und löscht das Feuer, rettet damit unter Umständen Leben und Besitz der Hausbewohner. Das Vorgehen der Feuerwehr in einem solchen Einsatz, von der Alarmierung bis zum abschließenden Verlassen der Unglücksstätte, ist von den beteiligten Feuerwehrleuten zuvor in Ausbildung und der täglichen Praxis viele Male auf das Genaueste geübt bzw. durchgeführt worden, so dass im Normalfall jeder Handgriff sitzt und die Kameraden sich aufeinander verlassen können.

Die Vermittlung des benötigten Wissens, im genannten Beispiel bezüglich des genauen Ablaufs und der Aufgaben einer Feuerwehrgruppe bei der Bereitstellung einer Wasserversorgung zu einer Brandstelle [HLF08] und des Löschangriffs, erfordert bei der Ausbildung von Feuerwehrleuten einen hohen Aufwand für Ausbilder und Auszubildende. Sowohl der theoretische als auch der praktische Unterricht der Ausbildung findet heutzutage in Form von Präsenzlehre statt. Entsprechend müssen die Auszubildenden wochenlang von der Arbeit freigestellt werden, ihren Urlaub investieren oder die Abende und Wochenenden und somit ihre Freizeit der Ausbildung unterordnen. Zeitmangel wiederum ist besonders bei den Freiwilligen Feuerwehren ein nicht unwichtiger Grund für den aktuell herrschenden Nachwuchsmangel. Eine Reduzierung der Anwesenheitszeiten für den Unterricht durch die Möglichkeit des Lernens und auch des Vorbereitens praktischer Übungen am heimischen Arbeitsplatz wäre daher eine große Hilfe für den Ausbildungsbetrieb. Dies gilt auch für das Auffrischen von Wissen der aktiven Feuerwehrleute nach der Ausbildung. Um die bereits genannte Aufgabe der Bereitstellung einer Wasserversorgung zu üben, muss diese im Vorfeld zunächst theoretisch für alle beteiligten Rollen einer Einsatzgruppe besprochen werden. Die entsprechende praktische Übung besteht anschließend aus einer Erprobungsphase, in welcher die verwendete Ausrüstung besprochen und deren Handhabung erklärt wird. Die tatsächliche Übung findet erst danach statt. Der zeitliche Rahmen umfasst in der Regel mehrere Tage für die beiden praktischen Teilbereiche sowie umfangreiche Besprechungen der Theorie.

Um diesen hohen zeitlichen Aufwand zu reduzieren, wurden in Zusammenarbeit mit dem Kreisfeuerwehrverband Fulda Serious Games [Fr11] als geeignetes Mittel ausgemacht, um auch praktische Lehrinhalte vermitteln und die realen Übung-

gen zwar nicht ersetzen, aber umfassend vorbereiten zu können. Bisher benötigte Präsenzzeiten und damit auch Kosten können mit diesem Mittel für Ausbilder und Auszubildende stark reduziert werden, indem die Auszubildenden die zu den jeweiligen Ausbildungsinhalten passende Simulation zuhause durchführen und anhand dieser die gewünschten Inhalte vermittelt bekommen. Lernphasen und ihre Dauer können von jedem Auszubildenden selbständig geplant werden, so dass auch die zeitliche Flexibilität der Ausbildung ungleich höher ist.

Für eine Trainingssimulation, die diesen Zwecken dient, wurden folgende grundlegende Anforderungen ausgemacht:

- Bereitstellung von Einsatzszenarien in Trainingsumgebungen, die der Realität nachempfunden sind,
- kooperatives Handeln von mehreren Spielern in einem Szenario bis hin zu Gruppen von neun Leuten und mehr,
- fehlende Teilnehmer einer Trainingsgruppe können durch Stellvertreter mit künstlicher Intelligenz ersetzt werden,
- Interaktion mit virtuellen Ausrüstungsgegenständen der Feuerwehr mit realistischem Verhalten,
- Trainermodus zur Überwachung der Teilnehmer.

2 Entwicklung und Komponenten

Um die zuvor beschriebenen Anforderungen an eine Trainingsumgebung zu realisieren, wurden verschiedene Komponenten entwickelt und zu einer Simulation integriert. Diese Komponenten und die aus ihnen resultierenden Eigenschaften des Serious Games werden nun beschrieben. Als technische Basis für die 3D-Simulation wurde die Game Engine Unity 3D [Un13] verwendet. Das System lässt sich jedoch ebenfalls mit Hilfe anderer Game Engines umsetzen, sofern diese die verwendeten Technologien unterstützen und die benötigten Eigenschaften besitzen.

2.1 Drehbuch

Um Inhalte für eine Trainingssimulation spezifizieren zu können, wurde mithilfe der Drehbuchsoftware Celtx und in Zusammenarbeit mit den Experten des

Kreisfeuerwehrverbandes Fulda ein Drehbuch für erste prototypische Szenen erstellt. Mit Celtx [Ce13] können Drehbücher im Drehbuchstandardformat, wie es für Filmproduktionen vorgeschrieben ist, erstellt werden.

Inhaltlich sollte die Simulation zunächst die bereits erwähnte Bereitstellung einer Wasserversorgung durch eine aus neun Leuten bestehende Einsatzgruppe der Feuerwehr abdecken. Ein Beispielszenario ist die Wasserversorgung per Unterflurhydrant nach der Feuerwehr-Dienstvorschrift 3 (FWDV3) [HLF08]. Mit Celtx können neben der Definition eines inhaltlichen Ablaufes Listen von Requisiten generiert werden, die spezifische Elemente der Szene beinhalten. Beispiele sind Ausrüstungsgegenstände und Gebäude, Dialoge oder Schauspieler bzw. Rollen. Anhand dieser Listen ist es anschließend möglich zu spezifizieren, welche Elemente für die anvisierte Szene erstellt werden müssen. Das Drehbuch bildet somit die Schnittstelle zwischen der inhaltlichen Spezifikation der Simulation und der technischen Umsetzung.

Nach Fertigstellung des Drehbuchs kann also z.B. mit der Modellierung benötigter 3D-Modelle oder der Aufzeichnung von Audio-Elementen begonnen werden. Abbildung 1 zeigt das Drehbuch als zentralen Punkt bei der Erzeugung von Inhalten für die Simulation.

Das Drehbuch kann auch als Grundlage für das Verhalten von virtuellen Stellvertretern dienen, die durch ein Expertensystem gesteuert werden, wie in 2.5 beschrieben. Die Aufgaben, die sich aus dem Verhalten der Personen im Drehbuch ergeben, müssen dann zu passend codierten Regeln für das Verhalten der Stellvertreter in der Simulation gewandelt werden. Das Expertensystem wertet diese Regeln dann aus.

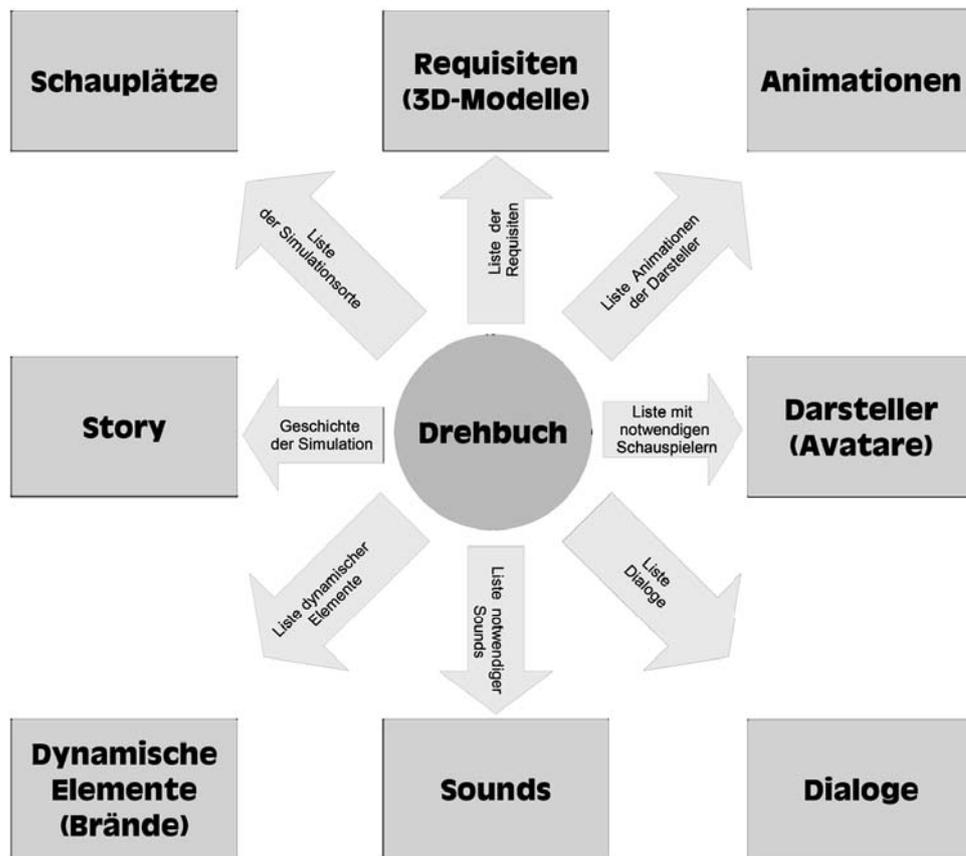


Abbildung 1: Das Drehbuch als zentrales Werkzeug bei der Erstellung von Simulationseinhalten

2.2 Avatare

In einer Trainingssimulation für Feuerwehrleute muss der Auszubildende sich in die Rolle desjenigen versetzen können, dessen Aufgabe er virtuell erfüllen soll. Da die Feuerwehr bei den hauptsächlich auftretenden Gegebenheiten wie Bränden oder Unfällen in Gruppen von neun Leuten ausrückt, die jeweils verschiedene, genau spezifizierte Aufgaben haben, müssen diese Rollen angenommen und der Spieler in der Simulation durch einen entsprechenden graphischen Stellvertreter abgebildet werden können.

Für diesen Zweck eignen sich Avatare [Tü07], dreidimensionale künstliche menschliche Stellvertreter, die durch Aussehen und Bewegungen einem realen Menschen nachempfunden sind. Für die hier beschriebene Simulation wurden daher Avatare entwickelt, die die Kleidung, das Aussehen und Ausrüstungsgegenstände deutscher Feuerwehrleute besitzen. Auch die Beschriftung der Uniform passt zu den realen Gegebenheiten. Das korrekte Aussehen von Avataren

und den Modellen der Feuerwehrausrüstung ist ein wichtiger Aspekt: Stimmt das Aussehen von Uniform oder Ausrüstung nicht mit der Realität überein, findet keine Identifizierung des Spielers mit den Gegenständen statt und ein Wiedererkennen in einer praktischen Übung oder bei einem Einsatz kann nicht erfolgen.

Ein eigens entwickelter Workflow ermöglicht es, Avatare mit unterschiedlicher Größe, Form, Sprache und Aussehen zu erstellen. So ist es möglich, auch Avatare für die Verwendung als Schaulustige, Polizisten, Sanitäter und viele weitere Einsatzgebiete zu kreieren. Die Avatare verfügen über eine Sprachausgabe mit passender Animation des Gesichts und Ausgabe der Sprache durch ein Audiosystem oder per Sprechblase. Menschliche Bewegungen und damit auch Fachbewegungen der Feuerwehr, wie zum Beispiel die Bedienung eines Feuerlöschers oder das Abtasten einer Tür auf Hitze, sind aufgrund des Bewegungsapparates des Menschen ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Teile des menschlichen Körpers. Die in der hier vorgestellten Trainingssimulation verwendeten Avatare sind mit den benötigten, zuvor von der Feuerwehr spezifizierten Bewegungen ausgestattet, die in einem Motion Capture-Labor der Universität Kassel aufgezeichnet wurden. Fachbewegungen sind integraler Bestandteil des Verhaltens von Feuerwehrleuten und ihre korrekte Abbildung muss daher in einer realistischen Simulation enthalten sein.

2.3 Netzwerkkomponente

Eine grundlegende Funktion der Trainingssimulation sollte die Möglichkeit sein, kooperatives Arbeiten an einer gemeinsamen Aufgabe zu üben. Da eine ausrückende Feuerwehrgruppe in der Regel aus neun Leuten besteht, sollten auch mindestens neun Leute gemeinsam in der Simulation üben können.

Die Trainingssimulation muss also an mehreren Arbeitsplätzen ausgeführt werden können, verbunden über ein Netzwerk. Um diese Anforderung zu erfüllen, wurde eine Netzwerkkomponente für die Simulation implementiert, die es ermöglicht, die Teilnehmer über ein lokales Netzwerk oder das Internet zu verbinden. Die Verbindung basiert auf dem Client-Server-Modell [Co04] und erlaubt den Teilnehmern, sich gegenseitig in der Szene zu sehen. Derzeit ist aufgrund der Gruppenstärke einer Feuerwehrgruppe von neun Leuten und einer Überwachungskomponente für den Ausbilder eine Verbindung mit zehn Teilnehmern vorgesehen. Diese Zahl kann je nach Bedarf und Leistungsfähigkeit der verwen-

deten Rechner-Hardware und des Netzwerkes angepasst werden. Abbildung 2 zeigt neun Teilnehmer mit verschiedenen Rollen, die gleichzeitig in einer Simulationsszene aktiv sind und durch Avatare repräsentiert werden.



Abbildung 2: Eine Gruppe aus Feuerwehrleuten tritt hinter dem Fahrzeug an, aufgenommen aus der Trainerperspektive

2.4 Trainermodus

Für den Einsatz in der Ausbildung von Feuerwehrleuten muss die Simulation sowohl von Auszubildenden als auch Ausbildern verwendet werden können.

Um dem Ausbilder die Möglichkeit zu geben, die Aktionen der Auszubildenden nachvollziehen zu können, braucht er eine eigene Nutzersicht und muss dafür ebenfalls mit den anderen Simulationsteilnehmern verbunden sein. Weiterhin soll er Einfluss auf die Simulation nehmen können, indem er sie neu starten, pausieren lassen und den Ablauf beeinflussen kann. Für diesen Zweck wurde ein Trainermodus entwickelt, der auf die Bedürfnisse des Ausbildungsleiters zugeschnitten ist. Der Modus bietet die Sichten

- Sicht von oben,
- Geist - Modus (wie ein Auszubildender, aber unsichtbar für die anderen Teilnehmer),
- aus Sicht der anderen Teilnehmer, Teilnehmer kann gewählt werden.

Der Trainer kann die Simulation pausieren lassen, hat Einfluss auf das Wetter und die Tageszeit und kann Elemente der Szene bewegen oder deren Zustand verändern. Beispiele sind das Aufschließen einer Haustür oder das Umparken eines Feuerwehrfahrzeugs an eine vordefinierte Position.

2.5 Künstliche Intelligenz durch Expertenwissen

Die Feuerwehrausbildung vermittelt Handlungsabläufe, die in den meisten Fällen sehr strikt formuliert sind. Insbesondere hat jeder beteiligte Feuerwehrmann seine fest definierte Rolle mit entsprechend fest definierten Aufgaben. In einer realistischen Simulationsszene für Feuerwehrgruppen müssen daher alle Gruppenmitglieder simuliert werden, da sonst die Abläufe verändert wären oder nicht funktionieren können. Um zu vermeiden, dass die Simulation nur im Falle vollzählig vorhandener menschlicher Mitspieler nutzbar und somit unflexibel wäre, können bei Bedarf künstlich intelligente Avatare die Rollen der fehlenden menschlichen Teilnehmer übernehmen. Zu diesem Zweck wurde mithilfe des Inhalts des erstellten Drehbuches und in Abstimmung mit Experten von der Feuerwehr das Wissen um Abläufe und Aufgaben einer Feuerwehrgruppe in einem Einsatzszenario durch Fakten und Regeln für das Expertensystem CLIPS abgebildet [GR05], [C113].

Weiterhin wurde ein Webservice für dieses Expertensystem entwickelt [Kr13], seine Funktionsweise ist in Abbildung 3 skizziert. Er macht eine Instanz von CLIPS über das Internet zugreifbar und kann flexibel mit dem passenden Expertenwissen für die jeweilige Simulationsszene in Form von Textdateien ausgestattet werden.

Der Server der Trainingssimulation, in diesem Fall mit der Game Engine Unity 3D umgesetzt, kann sich mit dem Webservice verbinden, sendet diesem Zustandsänderungen der Simulation und erhält von dem Expertensystem zur Laufzeit Anweisungen bezüglich des Verhaltens der nicht von menschlichen Spielern gesteuerten Simulationsteilnehmer. Auf diese Weise kann ein menschlicher Spieler ersetzt werden.

Das Verhalten der so gesteuerten Avatare basiert wiederum auf den Vorgaben, die von Experten anhand der Ausbildungsvorschriften einhergehend mit der Ausbildungspraxis definiert wurden. Die Verbindung von Simulationsserver und

CLIPS-Webservice wurde per http-Protokoll umgesetzt. Eine entsprechende Anfrage der Simulation an CLIPS kann Zustandsänderungen übermitteln, wie zum Beispiel die Information, dass die Aktion eines Avatars abgeschlossen ist. Der Webservice wertet daraufhin den aktuellen Fall aus und sendet gegebenenfalls eine Antwort mit Handlungsanweisungen an die Simulation. Diese Antwort wird durch einen Parser umgewandelt. Anhand darin enthaltener Befehle bezüglich der laut Regeln nun auszuführenden Aktionen, werden Handlungen der Avatare angesteuert. Diese sind beispielsweise Laufen zu einem bestimmten Ziel, sowie Greifen, Ablegen und Verbinden von Gegenständen. Die Benutzung von Gegenständen wie das Öffnen von Türen ist ebenfalls möglich. Die Liste der Handlungen kann beliebig erweitert werden, sofern mit der verwendeten Game Engine umsetzbar.

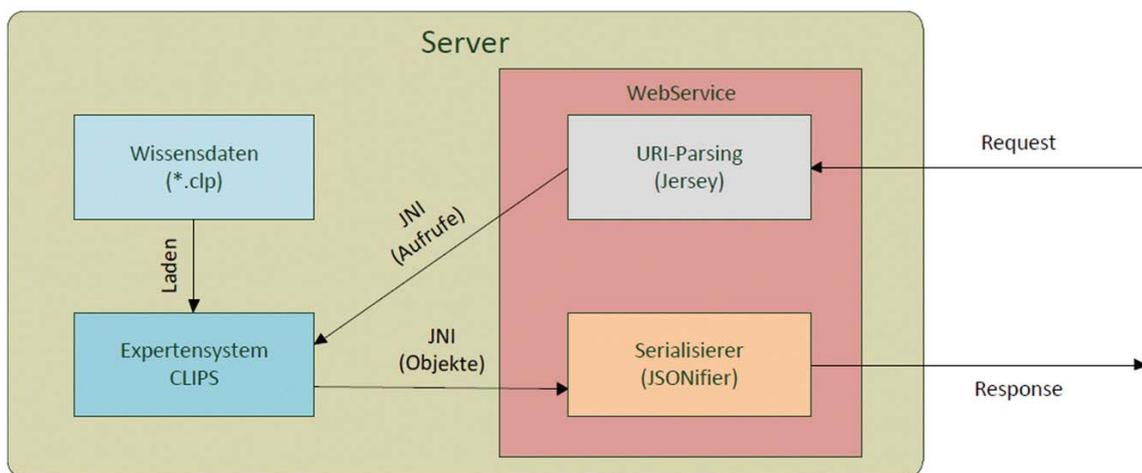


Abbildung 3: Funktionsweise des CLIPS - Servers mit Webservice

3 Resultate

In Zusammenarbeit mit dem Kreisfeuerwehrverband Fulda wurde eine Trainingssimulation entwickelt, mit welcher die Ausbildung von Feuerwehrleuten unterstützt werden kann. In virtuellen Szenarios können Nutzer typische Aufgaben der praktischen Feuerwehrausbildung lösen und über ein Netzwerk verbunden Abläufe und Inhalte kooperativ trainieren. Diese müssten sonst im Vorfeld einer praktischen Übung per Präsenzlehre vermittelt werden. Die Software ist auf einem handelsüblichen System nutzbar, die Systemanforderungen sind entsprechend niedrig.

Durch diese Eigenschaft kann die Software nicht nur an speziellen Computern in einem Ausbildungszentrum, sondern auch am heimischen PC verwendet werden, weshalb sie sehr flexibel einsetzbar ist. Durch den Einsatz der Software Celtx können zu trainierende Inhalte auf einfachem Wege von Feuerwehrexperten spezifiziert und von den Simulationsentwicklern übernommen werden. Auf diese Weise wurde die sonst eventuell problematische Verständigung bei der Zusammenarbeit vereinfacht. Inhalte können einfach ausgetauscht und überarbeitet werden, aber auch Abhängigkeiten in Abläufen zwischen verschiedenen Rollen lassen sich auf diesem Wege einfach ausarbeiten. Die Spezifikation von Szenen, Gegenständen und Rollen kann auf direktem Wege für die 3D-Modellierung von Objekten und Avataren genutzt werden. Für diese Modellierung werden Programme wie 3ds Max oder Motion Builder von der Firma Autodesk verwendet [Au13].

Der Ablauf der Simulation kann vom Trainer, der im Normalfall der Leiter der Ausbildung ist, überwacht und auch verändert werden. Er kann den Auszubildenden Rollen in der Simulation zuweisen, die den Rollen in einer Feuerwehrgruppe entsprechen. Beispiele sind der Gruppenführer oder der Wassertruppmann. Ausrüstungsgegenstände haben in der Simulation Funktionen, die ebenfalls denen der Realität entsprechen. Avatare können Gegenstände nehmen, zusammenschließen, tragen, ablegen, je nachdem was laut Drehbuch verlangt wird. So kann ein Avatar beispielsweise ein Standrohr nehmen und in einen Unterflurhydranten setzen, anschließend die passenden Ventile öffnen und das Rohr durchspülen. Wasser wird in diesem Fall durch Partikelsysteme simuliert [Re83]. Die Vorgänge des Tragens und Spülens sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Modelle der Ausrüstungsgegenstände und Avatare bilden Ausrüstung und Uniform der deutschen Feuerwehren nach, sodass der in diesem Zusammenhang für eine Ausbildung wichtige Wiedererkennungswert hoch ist. Die Simulation kann mit bis zu neun Teilnehmern und einem Trainer genutzt werden, in einer Variante kann sie auch in einem handelsüblichen Webbrowser im Einzelspielermodus verwendet werden.

Der Einsatz eines Expertensystems hat sich für die Abbildung von Expertenwissen und die Integration von künstlicher Intelligenz für Avatare bewährt. Mit dem als Webservice bereitgestellten und über das REST-Protokoll [RR07] verwendbaren Expertensystem ist die KI-Komponente leistungsfähig und flexibel.

Von einem Experten zuvor spezifizierte oder aus Fachliteratur extrahierte Inhalte können in das Expertensystem eingespeist und anschließend zur Steuerung von autonomen Avataren verwendet werden. Diese agieren dann als virtuelle Kollegen für den Auszubildenden, die fehlende Mitspieler ersetzen können.

Tests mit Angehörigen des Kreisfeuerwehrverbandes Fulda haben ergeben, dass die Simulation auch von ungeübten Computerspielern bedient und verstanden werden kann. Weiterhin ist sie geeignet, um besonders die Abläufe von Einsätzen und Abhängigkeiten von handelnden Teilnehmern untereinander zu verdeutlichen.



Abbildung 4: Der Wassertruppmann trägt das Standrohr vor einer im Hintergrund brennenden Mülltonne (li.), anschließend wird es gespült, Schmutzwasser kommt heraus (re.).

4 Zusammenfassung

Die entwickelte Trainingssimulation ist eine Unterstützung für die Feuerwehrausbildung und kann bei der Einsparung von Präsenzzeiten und auch Kosten für aufwendige praktische Übungen helfen. Die Übungen können so zwar nicht ersetzt, aber effektiv vorbereitet werden. Kooperatives Arbeiten in Gruppen, wie es bei der Feuerwehr penibel trainiert wird, kann aus der Sicht des Auszubildenden mit anderen gemeinsam geprobt werden. Ein Trainer kann den Simulationsablauf überwachen und in die Simulation eingreifen, fehlende Kollegen werden in der Simulation durch das in einem Expertensystem gekapselten Expertenwissen gesteuert und so ersetzt.

Hauptaugenmerk ist bei allen Komponenten die Originaltreue: Ausrüstung, Aussehen von Ausrüstungsgegenständen, Kleidung von Avataren, Verhalten im Einsatzfall durch die gesteuerten Avatare sind an die realen Vorschriften der deutschen Feuerwehr angepasst, damit Einsatzfälle sinnvoll trainiert werden können. Durch die Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Technologien können anhand einer Definition per Drehbuch neue Szenen und Inhalte aus dem Bereich der Feuerwehrausbildung definiert und in die Simulation übernommen werden.

Auch eine Erweiterung des jetzigen Standes hin zur Simulation von Großschadenslagen mit sehr vielen Beteiligten ist denkbar, muss aber auf Skalierbarkeit und Anforderungen an die Hardware und das Netzwerk getestet werden. Weitere denkbare Schritte wären eine Auswertung der Ergebnisse der Nutzer und eine Integration der Simulation in einen E-Learning-Kurs auf

Basis von E-Learning-Systemen wie Moodle [AAZ08]. Die Ergebnisse der Kursteilnehmer in der Simulation könnten dann in diesem gespeichert und vom Ausbilder abgefragt werden.

Literatur

- [AAZ08] Al-Ajlan, A.; Zedan, H.: Why Moodle. In: 12th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, 2008. FTDCS'08, S. 58–64, 2008.
- [Au13] Autodesk Inc.: Autodesk. URL: <http://www.autodesk.de/3dsmax> (03.06.2013).
- [Ce13] Grayfirst Corporation : Celtx. URL: www.celtx.com (03.06.2013).
- [Cl13] CLIPS Project: CLIPS – A tool for building expert systems. URL: <http://clipsrules.sourceforge.net> (03.06.2013).
- [CM05] Chen, S.; Michael, D.: Serious Games – Games that educate, train and inform. Cengage Learning Services, 2005.
- [Co04] Corner, D. : Computernetzwerke und Internets. Pearsons Studium, 2004.
- [Fr11] Frank, G. : Game Based Learning - Darf Lernen auch Spaß machen?. In: Metz, Maren / Theis, Fabienne, Digitale Lernwelt - Serious Games. Einsatz in der beruflichen Bildung., S. 53-63, wbv, Bielefeld, 2011, ISBN 978-3-7639-4807-9.
- [GR05] Giarratano, J.C.; Riley, G.D.: Expert Systems - Principles and Programming. Brooks/Cole Publishing Co., Pacific Grove, Ca, USA, 2005, ISBN:0534384471.
- [HLF08] Hessische Landesfeuerweherschule: Feuerwehr-Dienstvorschrift 3 - Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz, Kassel, 2008.
- [Kr13] Kreckler, F.: Entwicklung und Evaluierung einer webbasierten Schnittstelle und eines graphischen Wissenseditors für ein Expertensystem, Masterarbeit, Universität Kassel, Kassel, 2013.

- [Re83] Reeves, W.T.: Particle Systems— a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects. In: ACM Transactions on Graphics, Volume 2 Issue 2, S. 91 – 108, 1983.
- [RR07] Richardson, L.; Ruby, S.: RESTful Web Services. O‘Reilly, 2007.
- [Tü07] Tümmler, J. : Avatare in Echtzeitsimulationen. kassel university press GmbH, Kassel, 2007
- [Un13] Unity Technologies: Unity - Game Engine. URL: <http://unity3d.com> (03.06.2013).

Effiziente Erstellung maritimer 3D-Applikationen

Nutzung der VR-Dokumentation für Augmented Reality

Dr.-Ing. Axel Friedewald, Dipl.-Wirtsch.-Inf. Martin Heinig

Institut für Produktionsmanagement und -technik
Technische Universität Hamburg-Harburg
Denickestraße 17
21073 Hamburg, Deutschland
friedewald@tuhh.de
heinig@tuhh.de

Abstract: Im Schiffbau kann der Einsatz von Augmented Reality für Montageaufgaben vor Ort zu einer Produktivitätssteigerung beitragen, wenn alle Teile der Prozesskette optimiert werden. Dazu zählt auch das bisherige AR-Authoring, welches durch eine automatisierte Nutzung der VR-Dokumentation entscheidend reduziert wird.

1 Einführung

Die Planung von komplexen Produkten ist gerade bei einer Unikatfertigung wie im Schiffbau eine anspruchsvolle Aufgabe. Um auch bei begrenztem Zeitaufwand eine ausreichende Absicherung des Produktes und seiner Montage zu erreichen, wurden in den vergangenen Jahren in mehreren vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags geförderten Forschungsprojekten das in anderen Branchen weit verbreitete Hilfsmittel Virtual Reality (VR) an die Belange des Schiffbaus adaptiert [Fri12a]. Dies betrifft sowohl die Handhabung als auch die Funktionalität.

Dieser Beitrag zeigt, wie die während einer VR-Session erarbeiteten Ergebnisse für eine weitere Anwendung mit Augmented Reality (AR) genutzt werden können. Dazu wurde das Virtual Production (ViP)-Toolset, eine prozessorientierte

Ergänzung einer VR-Software, so erweitert, dass die vorhandene Funktionalität der VR-Session-Vorbereitung zur Aufbereitung der notwendigen AR-Inhalte genutzt werden kann, ohne spezielle Authoring-Tools für AR einsetzen zu müssen.

2 Virtuelle Technologien

2.1 Der Standard-VR-Prozess

Auch im Schiffbau lässt sich die virtuelle Realität als Hilfsmittel beim Engineering komplexer Produkte einsetzen. Die Einsatzszenarien reichen vom Design Review über die Montagefähigkeit oder ergonomische Aspekte beim Betrieb des Schiffes bis zum Refit. Jede VR-Untersuchung erfordert sowohl eine Vorbereitung des zugrunde liegenden 3D-Modells als auch der einzusetzenden VR-Funktionen und -Werkzeuge. Insbesondere Unikate können hier hohen Aufwand verursachen, auch wenn der Fokus der Untersuchung sich von Schiff zu Schiff wiederholt.

Zahlreiche Autoren, z. B. [Ma08], betonen die Notwendigkeit, den VR-Prozess in den bisherigen Geschäftsprozess zu integrieren. Eine geeignete Möglichkeit bildet hier der von [Ne09a] definierte Standard-VR-Prozess mit sechs Phasen. Von entscheidender Bedeutung ist die Definition der Zielsetzung der VR-Sitzung zu Beginn des Gesamtprozesses. Anschließend erfolgen Import und Aufbereitung der notwendigen 3D-Modelle sowie die Vorbereitung der zu betrachtenden VR-Szene und die eigentliche VR-Session. In der letzten Phase werden die Ergebnisse dokumentiert und damit für den weiteren Geschäftsprozess verfügbar gemacht (vgl. Abbildung 1).

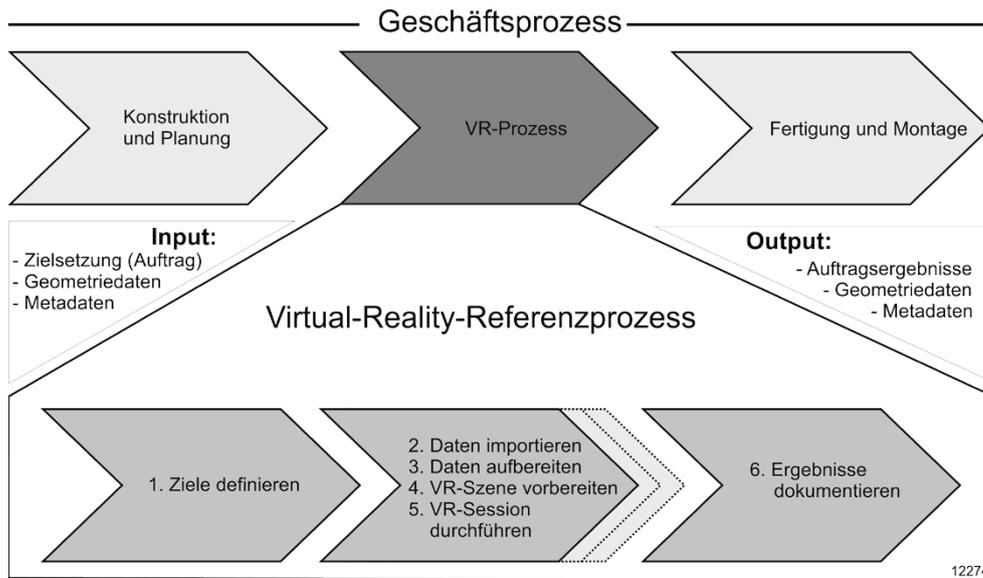


Abbildung 1: Integration des VR-Prozesses in den Geschäftsprozess

Die Daten bestehen aus den Geometriedaten und weiteren ergänzenden Daten, sog. Metadaten. Diese enthalten funktionale oder organisatorische Informationen über das 3D-Modell, z. B. Montagetermine, Bauzustände oder das Gewicht. Diese Informationen sind oftmals von einem PDM-System oder ähnlicher Unternehmens-DV verfügbar. Die für VR notwendige 3D-Geometrie wird von 3D-CAD-Systemen in ein VR-Format konvertiert.

Das Ergebnis des VR-Prozesses wird in einer Dokumentation niedergelegt. Mögliche Informationen sind die Beschreibung der Sitzungserkenntnisse, zusätzliche oder geänderte Metadaten oder sogar geänderte Geometriedaten. Nach [Wö10] bestehen allerdings trotz des Vorhandenseins der Sitzungsdokumentation bisher Schwierigkeiten, die Daten von VR in den Geschäftsprozess für eine spätere interaktive Nutzung zu überführen.

2.2 Dokumentation der VR-Sitzung

Dangelmaier sieht ein Problem in der trotz Kommentar- und Schnappschussfunktionen mangelnden systematischen Unterstützung des Umgangs mit virtuellen Prototypen [Da08]. Die erzeugte VR-basierte Dokumentation liegt oftmals statisch und in einer separat verwalteten Textform vor, die nicht mit dem PDM-System verbunden ist [Wö10]. Zusätzlich erfordert eine statische Definition, dass der Ersteller genaue Kenntnisse über deren zukünftige Nutzung besitzt.

Bei der Ergebnissicherung einer VR-Sitzung ist zwischen der Dokumentationsmethode und dem späteren Nutzungsverfahren zu unterscheiden. Abhängig vom Sitzungsziel kann das Ergebnis von der Auswahl der besseren Variante während eines Design Reviews bis zu geplanten Montagefolgen mit Animationen reichen. Die Verfahren zur Ergebnisnutzung hängen vom Empfänger ab. Gebräuchlich sind Schnappschüsse, Videos, Bauteillisten genauso wie ausgedruckte Hinweise und Kommentare. Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass die Dokumentationsverfahren, die die Ergebnisse außerhalb der VR-Umgebung verfügbar machen, dynamische Informationen in eine statische Repräsentation umwandeln. Dies kann im Fall einer späteren Weiterverwendung oder Anpassung Probleme bereiten.

Zur Verbesserung der Sitzungsdokumentation liegen mehrere Vorschläge vor. Hosseini und Georganas beschreiben eine flexible Aufzeichnung von Animationen in VR [Ho02]. Allerdings können diese Aufzeichnungen nur in dem zur Erzeugung verwendeten System abgespielt werden und sind daher nicht portabel.

	Dokumentationsinhalt	Nutzung in VR	Externe Nutzung
Eigenschaften	Blickfeld	Kameraposition	Screenshots
	Modellbereich	Geometrie	Listen / Pläne
	Bauteileigenschaften	geometrische Eigenschaften	Listen
	Hilfsmittel (z. B. Menschmodelle)	VR-Hilfsmittel	Texte, Videos, Screenshots
	Montagereihenfolge	Animationen	Video
	Anmerkungen, Anleitung	Virtual Marker, Anmerkungen	Audioaufnahmen, Ausdrücke
	Produktvarianten	Variantenkonfiguration	Variantenbeschreibung

Abbildung 2: Beziehung zwischen Dokumentationsinhalt und –methode [He12]

Ein anderes Beispiel ist die Software von eSZett, die darauf ausgelegt ist, mehrere Dokumentationsmedien wie Screenshots oder Videos zu verwalten und sie für die Rückführung in die Planungssysteme des Unternehmens aufzubereiten [Sc12].

Trotz dieser verschiedenen Ansätze für eine verbesserte Sitzungsdocumentation fehlt eine dynamische Repräsentation für eine spätere Personalisierung und eine digitale Weiterverarbeitung.

2.3 Augmented Reality

Augmented Reality (AR) erweitert die reale Sicht des Nutzers um virtuelle Objekte. Zahlreiche Projekte wie ARVIKA oder AVILUS haben das Potenzial und die technologischen Möglichkeiten für den industriellen Einsatz gezeigt [Fr04, Sc11]. Mit AR können Planungsdaten wie bspw. Montagefolgen oder andere Metainformationen abhängig von der Blickrichtung des Anwenders visualisiert werden. Die Daten können sowohl statischer Natur sein, wie Kommentare und Videos, als auch dynamischen Charakter aufweisen, wenn eine Interaktion mit dem Nutzer möglich ist.

Ein AR-System besteht aus einer Kamera, einem Tracking-System, einem Bildschirm und einer Software, mit der die AR-Szene erzeugt wird. Im Gegensatz zu einer VR-Sitzung sind Daten über eine Folge von Ereignissen ebenso notwendig wie die Vorbereitung möglicher Interaktionen des Anwenders. Diese Vorbereitung wird als Authoring bezeichnet. Der Autor legt den sichtbaren Inhalt durch Zuordnung von Geometrien, Metadaten und Funktionen zu einem sogenannten Target fest. Wenn die Kamera das Target erfasst, wird die Sicht des Anwenders entsprechend angereichert. Um dynamische Inhalte darstellen zu können, müssen die erforderlichen Interaktionsmöglichkeiten des Anwenders im Vorwege implementiert sein.

Um AR-Inhalte zu erzeugen, sind mehrere Authoring-Ansätze entwickelt worden. AR-Softwarehäuser bieten hier oftmals Editoren zur Beschreibung der Sitzungskonfiguration an. Das Framework InstantReality erlaubt dem gegenüber das Authoring in einer VR-Umgebung [Be08]. Unabhängig von diesen Lösungsansätzen stellt das Authoring bisher einen manuellen und zeitaufwendigen Prozess dar [Wö10]. Einflussfaktoren sind beispielsweise die Anzahl der Montageschritte, Bauteilanimationen oder zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten des Benutzers.

3 Konzept

3.1 Ausgangssituation

In der betrieblichen Praxis zeigt sich oft, dass für den Werker vor Ort mehrere, manchmal auch widersprüchliche Unterlagen bereitgestellt werden. Dies liegt daran, dass die insgesamt notwendigen Informationen von verschiedenen Abteilungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Produktentwicklungsprozess erstellt werden. Darüber hinaus sind die Informationen nicht für einen spezifischen Nutzer aufbereitet, sondern enthalten eine Fülle weiterer, für mehrere andere Adressaten relevante Daten. Auch sind großformatige 2D-Zeichnungen vor Ort nicht einfach zu handhaben.

Einen wesentlichen Nutzen einer virtuellen Planung, die gerade von den Werkern geschätzt wird, bilden interdisziplinäre Reviews. Die Beteiligten diskutieren den aktuellen Planungsstand, fügen notwendige Kommentare hinzu und besprechen Veränderungen im Fall von detektierten Problemen. Virtual Reality kann hier mittlerweile ohne großen Aufwand eingesetzt werden, da in der Regel alle Geometrieinformationen aus dem 3D-CAD-System zur Verfügung stehen und nur noch in ein VR-Datenformat konvertiert werden müssen.

Damit die Sitzungsdocumentation auch für die Fertigung und Montage zur Verfügung steht, kann sie zwar zum Teil in die 2D-Pläne eingefügt werden, nichtsdestotrotz ist diese Art der Informationswiedergabe nicht optimal und stellt eine Rückkehr von digitalem zu analogem Inhalt dar.

Ein weiterer Nachteil ist die Erzeugung der Dokumentation nach dem „Push-Prinzip“. Der Ersteller entscheidet darüber, welche Informationen vor Ort benötigt werden und stellt sie in statischer Form zur Verfügung. Wenn die von ihm vermuteten Informationsbedarfe nicht ausreichen, müssen die Unterlagen mit zusätzlichem Aufwand und Zeitverzögerungen überarbeitet werden. Das Risiko liegt in der Darstellung unnötiger Daten und dem Weglassen wichtiger Informationen. Ein Überangebot an Informationen reduziert die Anschaulichkeit der Dokumentation. Gravierender ist jedoch das Fehlen wichtiger Daten, z. B. das Fehlen einer wichtigen Perspektive bei den 3D-Screenshots. Außerdem kann die Dokumentation verschiedene Adressaten betreffen, die eventuell zum Zeitpunkt der Dokumentationserstellung noch nicht feststehen. Dies macht die Auswahl und Aufbereitung des richtigen Dokumentationsinhalts noch schwieriger.

Die beschriebenen Nachteile der konventionellen Dokumentationsverfahren führen zu neuen Anforderungen: Die Informationen sollten nach dem „Pull-Prinzip“ zur Verfügung gestellt werden, so dass der Werker vor Ort die benötigten Informationen selbst auswählen kann. Dies bedingt entsprechende Interaktionsmöglichkeiten mit dem zur Datenanzeige verwendeten Endgerät. Das Gerät muss zum mobilen Einsatz in der Werkshalle geeignet sein und Objekte in 3D darstellen können.

Eine Technologie wie Augmented Reality (AR) erfüllt diese Bedingungen. AR bietet eine Erweiterung zu den Papierzeichnungen und -plänen und kann vor Ort eingesetzt werden. Ergänzende Informationen könnten beispielsweise Kommentare sein. Wenn ein 3D-Modell verfügbar ist, können auch absichtlich weggelassene Informationen, wie z. B. ausgeblendete Teile, später bei Bedarf angezeigt werden.

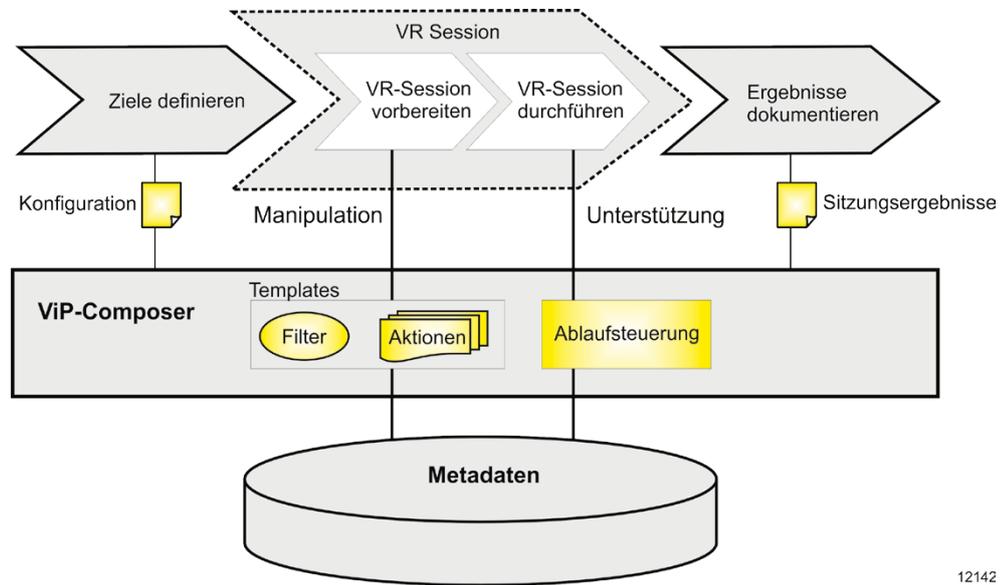
Wenn das Ergebnis der VR-Sitzung ohne Medienbruch direkt nach AR übernommen wird, liegt es bereits in einem digitalen und „dynamischen“ Format vor. Diese Lösung ist jedoch nur dann geeignet, wenn kein oder nur geringer Zusatzaufwand für das Authoring entsteht. Ein automatisches Verfahren, welches das Authoring direkt aus dem VR-Inhalt ableitet, wird im Folgenden vorgestellt.

3.2 ViP-Composer

Der Virtual Production (ViP)-Composer ist ein Werkzeug für eine VR-Software. Er unterstützt die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation einer VR-Sitzung analog dem in Kapitel 2.1 beschriebenen VR-Prozess [Ne09b]. Er erleichtert die Nutzung der notwendigen Funktionen der VR-Software und bietet sowohl eine automatische Vorbereitung der VR-Szene als auch spezifische Manipulationsfunktionen für das VR-Modell während der Sitzung [Lö11a]. Dazu importiert der ViP-Composer zur Laufzeit Metadaten und verknüpft sie mit den Geometrieobjekten. Die Metadaten stammen in der Regel aus dem PDM-System des Unternehmens.

Für den Umgang mit den Elementen des Geometriemodells kann der Anwender geometrische Objekte in der VR-Szene mit einem Filtermechanismus auswählen. Der Composer bietet verschiedene Aktionen zur Anwendung der Filterbedingungen. So importiert die Funktion „Laden“ ein Objekt in die Szene und die

Aktion „Kollisionsüberprüfung“ bereitet das Objekt für diese VR-Funktion vor. Die Kombination von Filtern und Aktionen bildet ein Template und beschreibt die auf das Filterergebnis anzuwendende Aktivität. Abbildung 3 veranschaulicht die Funktionalität des ViP-Composers.



12142

Abbildung 3: Funktionalität des ViP-Composers [He12]

Der ViP-Composer bereitet die VR-Sitzung automatisch vor. Er benutzt Filter zur Bestimmung des Modellumfangs und lädt die Geometrien in die Szene. Mögliche Parameter sind die Sektion, Baugruppenkategorien oder Montagetermine. Während der Sitzung unterstützt der ViP-Composer den Anwender. Vordefinierte Bearbeitungsaufgaben können schrittweise ausgewählt werden, was insbesondere bei Absicherungsaufgaben hilfreich ist [Fr12a]. Weitere Funktionen sind z. B. die immersive Anzeige von Informationen, die farbliche Markierung von zu untersuchenden Komponenten und die Definition von Kameransichten. Am Ende der Sitzung werden die Ergebnisse dokumentiert.

Veränderungen oder hinzugefügte Informationen, wie beispielsweise eine neue Montagefolge oder Kommentare, speichert der ViP-Composer als Metadaten. Die Ergebnisse verbleiben dadurch in einem „dynamischen“ Format.

3.3 Augmented-Reality-Erweiterung

Um die Ergebnisse der VR-Sitzung mit Augmented-Reality-Hilfsmitteln anzeigen zu können, wurden die Funktionen des ViP-Composers um eine AR-Schnittstelle erweitert [Lö11b]. Die VR-Dokumentation ersetzt nun das AR-Authoring, da die notwendige Konfiguration automatisch aus den Metadaten abgeleitet wird. Der ViP-Composer konvertiert die Beschreibung der VR-Szene in eine AR-Szene (vgl. Abbildung 4). Dazu werden zum einen die 3D-CAD-Daten in einem geeigneten Format bereitgestellt, zum anderen müssen die Metadaten verfügbar gemacht werden.

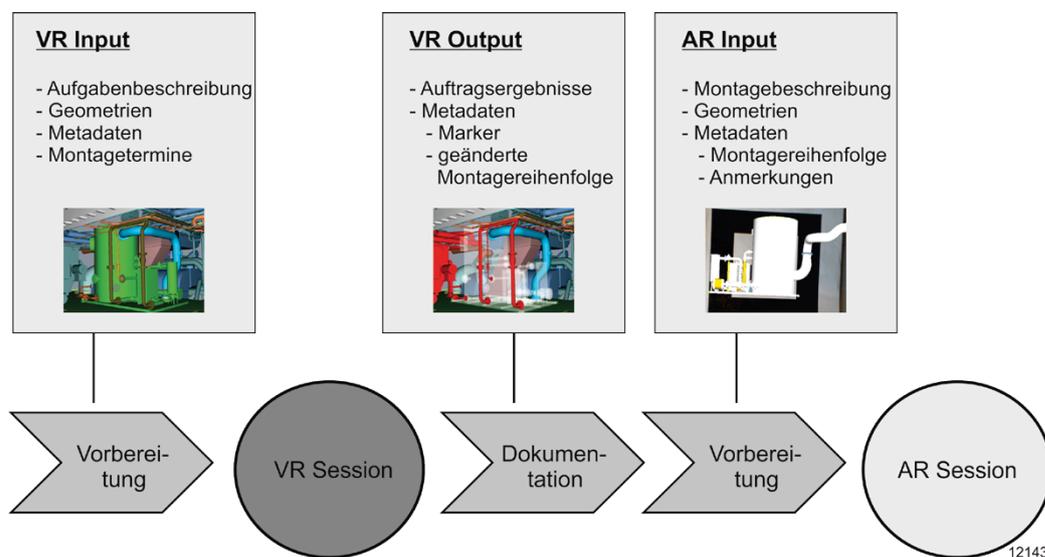


Abbildung 4: Nutzung der VR-Session-Dokumentation für AR [He12]

Für die Vorbereitung der VR-Szene benötigt der ViP-Composer Sitzungsdetails wie notwendige Modellkomponenten oder Kamerapositionen. Diese werden durch Filter und Lageparameter der Kamera definiert. Für die Durchführung der VR-Sitzung werden wie beschrieben die Untersuchungsziele, die zu untersuchenden Teile und die Erläuterungen bereitgestellt.

Im Gegensatz zur VR-Sitzung liefert bei AR das Tracking die Informationen zur Perspektive der Szene. Da bei einem Einsatz vor Ort lediglich die noch zu montierenden Komponenten visualisiert werden, unterscheidet sich auch die Datenfilterung.

Vielfach ist beim AR-Einsatz auch die Darstellung zusätzlicher Informationen hilfreich. Der ViP-Composer kann Animationen auf ähnliche Weise wie in VR zeigen, da die Animationswege als Metadaten der zugehörigen Teilegeometrien gespeichert werden. Wenn eine Montageplanänderung in VR erzeugt wird, z. B. eine veränderte Montagereihenfolge, dann werden die Metadaten entsprechend modifiziert und stehen sofort für die AR-Anwendung zur Verfügung. Audioaufnahmen oder Videos können auf die gleiche Weise mit der AR-Szene verlinkt werden, falls das AR-Endgerät die Darstellung dieses Medientyps gestattet.

Zusätzliche Inhalte und dynamisches Modellverhalten benötigen geeignete Interaktionsmöglichkeiten. Sie spielen beim Informationszugriff nach dem „Pull-Prinzip“ eine wichtige Rolle und hängen von den Fähigkeiten des AR-Endgeräts ab. Für die ersten Entwicklungsschritte wurde hier ein Tablet-Computer verwendet, denkbar ist aber auch der Einsatz einer AR-Brille mit einem zusätzlichen Controller. Die Interaktionsfunktionen wurden parametrisiert und werden zur Laufzeit mit Daten versorgt. So zeigt bspw. die Berührung einer dargestellten Geometrie die Metadaten dieser Komponente an. Das Userinterface basiert auf der Tabletsteuerung des ViP-Composers [Lö11a].

4 Prototypische Umsetzung

Die Nutzung der VR-Sitzungsdokumentation mit AR wird anhand eines Szenarios zur Montageplanung bei verspäteter Komponentenanlieferung verdeutlicht. Dazu wurde in einer VR-Sitzung die Montagereihenfolge geändert und mit Kommentaren angereichert. Statt des Ausdrucks von Schnappschüssen, Papierlisten oder anderen Textdokumenten wurden die Ergebnisse als Metadaten zusammen mit der Sitzungskonfiguration gespeichert. Als VR-Software wird VDP 8 von ESI/ICIDO [Ic12] verwendet.

Die Umsetzung der AR-Anwendung erfolgte anhand des METAIO SDK [Me12]. Die Geometriedaten wurden von einem 3D-CAD-System in ein Format der AR-Software konvertiert. Zusätzlich müssen die Trackinginformationen definiert werden. Für den Prototyp wurde zunächst ein markerbasiertes Tracking gewählt.

Nach dem Start der AR-Software wird die gewünschte Sitzung ausgewählt und die Konfigurationsdatei gelesen. Die Tabletsteuerung führt anschließend die Fil-

ter und Aktionen aus. Die Filterkonfiguration bestimmt die notwendigen Geometrien und der ViP-Composer übermittelt das Filterergebnis an das Tablet. Daraufhin werden die Geometrien und die Montagesequenz in die Szene geladen. Allerdings wird nur das erste zu montierende Teil dargestellt, sobald der Marker erkannt wird. Erst nach einer Benutzerinteraktion wird das nächste Bauteil angezeigt. Die Konfigurationsdatei bestimmt auch die im Steuerungsmodul verfügbaren Funktionen. Um eine Montagefolge anzusehen werden beispielsweise oftmals nur ein Vorwärts- und ein Rückwärtsknopf benötigt. Die Filtermechanismen dagegen stehen für die notwendige Nutzerflexibilität immer zur Verfügung. Darüber hinaus werden zusätzliche Informationen oder Kommentare zu den geometrischen Objekten geladen, damit bei der Berührung der Bauteile auf dem Bildschirm die Bemerkungen oder andere Metadaten des Objekts angezeigt werden können. Abbildung 5 zeigt das Laden von zusätzlicher Geometrie und die Anzeige von Metadaten mit dem AR-Prototyp.



Abbildung 5: Dynamisches Nachladen von Inhalten mit dem AR-Prototyp

In folgenden Entwicklungsstufen soll untersucht werden, ob auch ein markerloses Tracking für einen industriellen Einsatz mit der dabei notwendigen Genauigkeit umsetzbar ist und welche alternativen Anzeigetechnologien sich dafür eignen.

Der Einsatz der vorgestellten autorenlosen Lösung ist tendenziell dann sinnvoll, wenn es sich bei der AR-Session um einen sich nicht wiederholenden Prozess handelt. So möchte man zusätzlichen Aufwand für die Visualisierung einer einmaligen Montagereihenfolge in AR, bspw. in der Unikatfertigung, vermeiden. Bei einem Trainingsszenario oder einer wiederkehrenden Wartungstätigkeit kann der Zusatzaufwand hingegen vertretbar sein.

5 Zusammenfassung

Die vorgestellte Erweiterung des ViP-Composers zeigt das Potenzial der Nachnutzung von VR-Sitzungsergebnissen mit Augmented Reality. Dies wird durch die Informationsversorgung nach dem „Pull-Prinzip“ erreicht, die sich der Benutzer mit Hilfe der im ViP-Composer implementierten Filtertechnologie für seine Bedürfnisse zusammenstellen kann. Dadurch entfällt das bisherige AR-Authoring, was entscheidend zur Aufwandsminimierung beiträgt. Der Aufwandsunterschied zwischen den beiden Varianten der AR-Inhaltserzeugung ist umso größer, je mehr Elemente für die spätere AR-Session erforderlich sind. Allerdings kann ein explizites Authoring tendenziell detailliertere und bedarfsgerechtere Inhalte zur Verfügung stellen, sofern die Anforderungen für die spätere Nutzung gut abschätzbar sind.

Die Bedienung der AR-Anwendung erfolgt über die Tabletsteuerung der VR-Umgebung, die zu diesem Zweck in die Applikation integriert wurde. Zukünftige AR-Endgeräte werden die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie auch für den Schiffbau erweitern.

Literatur

- [Be08] Behr J., Bockholt U., Stricker D.: Instant-Reality – Mixed Reality Technologien im Produktlebenszyklus, Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung, Proceedings of the 7th Paderborner Workshop, Paderborn, 2008, S. 17 – 27.
- [Da08] Dangelmaier M. and Haselberger F.: Immersive virtuelle Begehung und Inspektion, Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung, Proceedings of the 7th Paderborner Workshop, Paderborn, 2008, S. 127-140.
- [Fr04] Friedrich, W.: ARVIKA, Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service, Erlangen, 2004.
- [Fr12a] Friedewald, A.; Lödding, H.; Lukas, U. v.; Mesing, B. (Hrsg.): Einsatz und Entwicklung innovativer VR-Technologien im Schiffbau - Ergebnisse des Verbundvorhabens POWER-VR, TuTech-Verlag, Hamburg, 2012.
- [He12] Heinig, M.; Friedewald, A.; Lödding, H.: Improving the Benefit of Virtual Reality Session Documentation through Augmented Reality, in: Lin, Y.-C.; Kang, S.-C. J. (Hrsg.): 12th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 12), Proceedings, Taipeh 2012, S. 271-281.
- [Ho02] Hosseini M. and Georganas N.: MPEG-4 Based Recording and Replay of Collaborative Virtual Reality Sessions, Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference, Orlando, 2002, S. 271.
- [Ic12] Icido: IC.IDO The Visual Decision Company, ICIDO GmbH, <http://www.icido.de/>, Stuttgart, 2012.
- [Lö11a] Lödding H., Friedewald A., Heinig M. and Schleusener S.: Virtual Reality supported Assembly Planning in the Shipbuilding Industry, Journal of Ship Production and Design, Vol. 27, 2011, S. 146-152.

- [Lö11b] Lödning H.; Friedewald A.; Heinig M.: Unterstützung von Montageaufgaben in der Unikatproduktion mit dem ViP-Toolset, Proceedings of the 3th Interdisciplinary Workshop Maritime Systeme, Hamburg, 2011, S. 1-11.
- [Ma08] Matysczok C., Fründ J. and Meyer D.: VR, AR – Im Spannungsfeld zwischen Forschung, Markt und Kundenanforderungen, Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung, Proceedings of the 7th Paderborner Workshop, Paderborn, 2008, S. 275-288.
- [Me12] Metaio: Metaio GmbH, <http://www.metaio.com>, München, 2012.
- [Ne09a] Nedeß C., Friedewald A., Schäfer C., Schleusener S.: Deploying Virtual Reality (VR) Technology in Shipbuilding by using a Construction Kit for VR Applications Focused on the Business Process, 8th Conf. on Computing and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT 2009), Budapest, 2009, S. 271-286.
- [Ne09b] Nedeß C., Friedewald A., Schäfer C., Schleusener S.: Virtual Production Workflow Composer - ein Werkzeug zur Integration von Virtual Reality in betriebliche Prozesse, Proceedings Go-3D, Go for Innovations, Rostock, 2009, S. 27-38.
- [Sc11] Schreiber, W. and Zimmermann, P.: Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld, Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen, Heidelberg, 2011.
- [Sc12] Schwarz, O.: Virtual Reality im Lebenszyklus einer Industrieanlage, Proceedings Go-3D, Go for Innovations, Rostock, 2012, S. 127-134.
- [Wö10] Wöhler T., Rothenburg U., Strauchmann M., Mader S. and Haupt M.: Konzepte und Implikationen zur Integration von VR-, CAX- und PDM-Systemen für die funktionale Absicherung von Montage-/ Demontage-Operationen, Proceedings 13. IFF-Wissenschaftstage, Magdeburg, 2010, S. 238-243.

Framework zur Erzeugung interaktiver 3D-Meeresmodelle mit Web3D-Technologien

Thomas Ruth, Stefan Audersch

Abteilung Maritime Graphics
Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung
Joachim-Jungius-Str. 11
18059 Rostock, Deutschland
thomas.ruth@igd-r.fraunhofer.de
stefan.audersch@igd-r.fraunhofer.de

Abstract: In diesem Beitrag wird ein Framework zur automatischen Erzeugung interaktiver dreidimensionaler Meeresmodelle basierend auf Web3D-Technologien vorgestellt. Mit Hilfe des Ansatzes wurden exemplarisch verschiedene interaktive 3D-Unterwassergeländemodelle der Ostsee erstellt. Bathymetrische Datensätze beschreiben die topographische Gestalt der Meeresböden. In der Meeresforschung und Hydrographie werden zum Datenaustausch zumeist Grid-Datensätze in verschiedenen Formaten verwendet. Dabei werden die mit verschiedenen Erfassungstechniken erfassten Tiefendaten auf ein regelmäßiges räumliches Gitter abgebildet. Der Beitrag gibt einen kurzen Abriss über übliche Bathymetrie-Datenmodelle. Das entwickelte Framework ermöglicht sowohl die einfache Analyse solcher bathymetrischen Grid-Datensätze als auch die anschließende automatische Erzeugung von Modellen daraus, die die Web3D-Technologien X3D bzw. X3DOM nutzen. Die erzeugten Unterwassergeländemodelle lassen sich so beispielsweise in Virtual Reality-Umgebungen oder in modernen Webbrowsern interaktiv manipulieren und bieten damit vielfältige Analysemöglichkeiten in der Meeresforschung. Anhand eines frei verfügbaren Ostsee-Bathymetrie-Datensatzes werden die Eignung des gewählten Generierungsansatzes und mögliche Anwendungen der erzeugten interaktiven 3D-Meeresmodelle aufgezeigt.

1 Einleitung

Unter Bathymetrie versteht man die Vermessung der topographischen Gestalt der Meeresböden. Die erfassten Tiefenprofildaten bilden die Basis für eine Vielzahl von Anwendungen, z. B. für Seekarten, Vorhersagemodelle oder die marine Raumplanung. Mit dem Aufkommen von Geoinformationssystemen (GIS) zur digitalen Erfassung, Verwaltung und Manipulation von raumbezogenen Daten seit den 1950er Jahren hat sich auch das Konzept der Terrainvisualisierung stark entwickelt. Die 3D-Visualisierung von Terrains ist seitdem sowohl in den Bereichen GIS als auch VR (Virtual Reality) ein Forschungsschwerpunkt. Seit den frühen 1990er Jahren rückten, zusammen mit der Verbreitung leistungsfähiger 3D-Hardware, auch interaktive 3D-Visualisierungen von Geodaten, z. B. für Stadtmodelle oder in der Architektur verstärkt in den Fokus wissenschaftlicher Aktivitäten. Durch die Entwicklung leistungsfähiger Bathymetrie-Erfassungstechniken, wie Fächerecholote bzw. Fächersonare (Multibeam echosounder) und der Satelliten-Altimetrie sowie dem leichteren Zugang zu großen Datensätzen durch das Internet, entstanden auch geeignete Datengrundlagen für präzisere und flächendeckende 3D-Modelle der Meere. Zusätzlich schufen die Entwicklung von Web-GIS-Systemen und neue plattformunabhängige 3D-Standards wie VRML sowie X3D [Web11] die Voraussetzungen, interaktive Visualisierungen solcher 3D-Modelle praktisch und einfach nutzbar zu machen. Die Visualisierung in Virtual- und Mixed Reality-Umgebungen bietet durch deren vielfältigen Interaktions- und Navigationsmöglichkeiten sowie deren umfangreiche Hardwareunterstützung (Stereoprojektionen, Mehrseiten-Umgebungen, CAVEs, mobile Geräte) viele Anwendungsmöglichkeiten in der Datenexploration. Durch den Szenegraph-basierten Ansatz dieser Systeme sind die 3D-Modelle vielseitig dynamisch manipulierbar und modifizierbar, was z. B. die immersive Visualisierung von dynamischen Modellen und Simulationen erlaubt. Ein 2002 publizierter Ansatz visualisiert so vorberechnete Landschaftsveränderungsprozesse mit VRML [Pul02]. Für die interaktive räumliche Visualisierung der Daten von archivierten ROV-Expeditionen der amerikanischen Meeresforschungseinrichtung MBARI wurde 2004 die Erweiterung GeoVRML erprobt [McC04]. Das System VR-Ocean erlaubt bereits interaktive geospatiale Analysen und realistisch wirkende 4D-Visualisierungen der marinen Region um die Antarktis, verwendet dabei aber keine VR-Standardformate [LCK+11].



Abbildung 1: Verschiedene Beispiele generierter Bathymetriemodelle der südlichen Ostsee, basierend auf dem Datensatz iowtopo2_rev02 [STK08], gemappt mit verschiedenen Farbskalen und dargestellt im System Instant Reality [Fra12].

Eine Herausforderung stellt oft die einfache Aufbereitung von bathymetrischen Datensätzen für die interaktive Nutzung in Virtual und Mixed Reality-Umgebungen dar. Dieser Beitrag stellt deshalb ein Framework zur automatischen Erzeugung von interaktiven dreidimensionalen Meeresmodellen vor. Mit Hilfe des Ansatzes wurden exemplarisch interaktive und echtzeitfähige 3D-Unterwassergeländemodelle der Ostsee erstellt, die innerhalb des Mixed Reality-Frameworks Instant Reality [Fra12] dargestellt und manipuliert wurden. Die Abbildung 1 zeigt verschiedene eingefärbte Varianten eines generierten X3D-Modells der südlichen Ostsee. Des Weiteren werden im Beitrag Anwendungsmöglichkeiten für die generierten interaktiven 3D-Meeresmodelle skizziert. Zuvor wird im Folgenden ein kurzer Abriss über aktuell übliche Bathymetrie-Datenmodelle, sowie über die Möglichkeiten der Terrainmodellierung im nach wie vor verbreiteten VR-Format VRML sowie dem neueren Web3D-Standard X3D und der Web3D-Technologie X3DOM gegeben.

2 Bathymetriemodelle

Bathymetrische Datensätze beschreiben die topographische Gestalt der Meeresböden. Typischerweise enthalten sie dazu Tiefenprofile der Ozeane, zusammengetragen mit Hilfe verschiedener Teildatensätze und Messverfahren, d. h. aus hydrographischen Vermessungen (Schiffs-Echolote) und Satellitenmessungen.

Bei digitalen Geländemodellen unterscheidet man zwischen primären und sekundären digitalen Höhenmodellen (DHM) [ML58]. Bei primären DHM sind die Stützpunkte, welche die originären Messdaten darstellen, bezüglich der Lage unregelmäßig angeordnet. Die Punkte werden zusammen mit den Strukturinformationen als Vektordaten gespeichert und auch als unregelmäßige Netzwerke

bzw. Triangulated Irregular Networks (TIN) bezeichnet. Die Stützpunkte sind bei sekundären DHM regelmäßig gitterförmig angeordnet. Bei diesen berechneten Gitternetzen (Grids) wird über das Gelände ein gleichmäßiges Gitter gelegt und jedem Gitterwert wird ein Höhenwert zugeordnet. Dabei werden keine Strukturinformationen mit abgespeichert.

Für die meisten Anwendungen sind regelmäßige Gittermodelle leichter zu verarbeiten, daher sind diese auch verbreiteter als Austausch-Datenstruktur. Mit Gridding-Werkzeugen können unregelmäßige Netzwerke in reguläre Gitter überführt werden. Sekundäre DHM werden zudem in zellen-registrierte (cell registered) und gitter-registrierte (grid registered/node registered) Gitternetze unterteilt. Der Unterschied liegt in der Zuordnung der gespeicherten Werte des Gitternetzes. Bei gitter-registrierten Grids beziehen sich diese auf die Mittelpunkte der Zellen. Die Datenwerte bei zellen-registrierten Grids hingegen beziehen sich auf die äußeren Ecken der Netzzellen.

Zum Austausch bathymetrischer Daten werden viele von GIS-Systemen bekannte Dateiformate genutzt, sowohl Raster- als auch Vektorformate. Ein in den Meeres- und Geowissenschaften etabliertes Containerformat ist netCDF (network Common Data Form). Dabei handelt es sich genau genommen um eine Sammlung von Software-Bibliotheken (für C, Fortran, C++, Java u.a.) und selbstbeschreibenden, maschinenunabhängigen Datenformaten, welche die Erstellung, den Zugriff und die Weitergabe von arrayorientierten wissenschaftlichen Daten unterstützen [Uni]. Das netCDF-Datenmodell ist im Laufe der Zeit in verschiedener Weise angepasst worden. Es gibt verschiedene Konventionen zur Beschreibung der in einer netCDF-Datei enthaltenen Daten und zur Vereinfachung der Interoperabilität zwischen Datenanbietern, Anwendungsentwicklern und Datennutzern. Die allgemeinen Konventionen der netCDF-Dokumentation legen die Basis für eine weitreichende Interoperabilität, wobei diese durch spezifische Konventionen ergänzt werden sollen [RDE+11]. In den Erd- und Meereswissenschaften sind die CF-Konvention und deren Erweiterungen sehr gebräuchlich. Frei verfügbare bathymetrische Datensätze im netCDF-Format finden sich z. B. bei den Einrichtungen GEBCO, NASA/NOAA oder IOW. Eine umfassendere Übersicht über wichtige Anbieter, frei verfügbare Bathymetriedatensätze und weitere Datenformate findet sich in [RGK12].

3 Terrainmodellierung mit Web3D-Technologien

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen digitalen Höhenmodelle des Meeresbodens können auf verschiedene Weise zur Modellierung von 3D-Terrains in VR-Systemen verwendet werden. Für die Modellierung von TINs bieten sowohl VRML als auch X3D den Knoten *IndexedFaceSet*, mit dem Netzflächen durch eine Aufzählung ihrer Netzknoten (Feld *point*) sowie deren Vernetzungsreihenfolge (Feld *coordIndex*) beschrieben werden. Effizienter ist aber zumeist die Verwendung von regelmäßigen Gittern. Dafür bieten beide VR-Standards den Knoten *ElevationGrid*. Mit den folgenden Attributen beschreibt *ElevationGrid* in Form eines regelmäßigen Gitters ein Höhenfeld:

- *xSpacing* und *zSpacing*: die Abstände der Gridknoten,
- *xDimension* und *zDimension*: die Anzahl der Gridknoten pro Achse,
- *height*: ein Feld mit $xDimension * zDimension$ Höhenwerten.

Für den Umgang mit Geodaten gibt es im VRML-Umfeld die Erweiterung *GeoVRML*, die einem VRML-System jedoch separat als Bibliothek hinzugefügt werden muss. Der X3D-Standard (X3D für *Extensible 3D*) definiert verschiedene Komponenten und Profile. X3D-Systeme müssen im Gegensatz zum monolithischen VRML nicht alle Komponenten implementieren, um als standardkonform zu gelten. Für die bessere Unterstützung von Geodaten definiert X3D die Komponente *Geospatial*, die z. B. im *Full Profile* enthalten sein muss. Diese Komponente definiert spezielle X3D-Knoten, um Geo-Anwendungen besser zu unterstützen und den Umgang mit Geokoordinaten wie z. B. Latitude und Longitude zu ermöglichen. Darunter ist auch der Knoten *<GeoElevationGrid>* welcher sein Höhenfeld innerhalb eines mit dem Attribut *geoSystem* definierten geospatialen Referenzraumes aufspannt (z. B. dem WGS84-Ellipsoid). Dies sorgt für eine transparente Transformation des Höhenfeldes in eine erdgekrümmte geozentrische Repräsentation.

Ein noch relativ neuer Ansatz für deklaratives 3D im Web ist *X3DOM* [BJK+10]. Mit diesem DOM-basierten Integrationsmodell für (X)3D in HTML5 können die erzeugten 3D-Terrains auch direkt in aktuellen Browsern performant erkundet werden. Dazu werden X3D-Modelle direkt in den (X)HTML-Code einer Webseite eingebettet. Allerdings unterstützt der zugrundeliegende Java-Script-Szenegraph noch nicht alle Komponenten von X3D, insbesondere die Geospa-

tial-Komponente ist aktuell nur experimentell und unvollständig implementiert. Zudem sind bei der Verwendung von X3DOM Einschränkungen des zugrundeliegenden WebGL zu berücksichtigen, z. B. das indexbasierte Datenstrukturen jeweils nur maximal 2^{16} (65.536) Einträge enthalten dürfen.

4 Prozess der 3D-Modellgenerierung

Zur automatischen Generierung interaktiver 3D-Meeresmodelle aus bathymetrischen Grid-Datensätzen wurde ein Konzept entwickelt, das basierend auf drei Kernideen eine große Flexibilität bieten soll:

1. Pipeline einzelner Datenaufbereitungs- und -transformationsschritte
2. Austauschbare Komponenten für die einzelnen Pipeline-Stufen
3. Templates für die zu generierenden X3D-Dateien

Dieses Konzept hat mehrere Vorteile. Die Trennung in einzelne Aufbereitungsschritte entspricht gängigen empfohlenen Prinzipien für die Softwareentwicklung, insbesondere dem Prinzip der *Separation-of-Concerns (SoC)*. Zum einen können so, zusammen mit dem Komponenten-orientierten Ansatz, einfach weitere Verarbeitungskomponenten entwickelt und mit dem Framework genutzt werden, z. B. um weitere Grid-Dateiformate einlesen zu können. Zum anderen kann ein Benutzer leicht lediglich durch Anpassungen am Template oder durch die Verwendung eines anderen Templates weitere X3D-Strukturen im generierten Szenegraphen bereitstellen, ohne den Quellcode der Generierungsbibliothek anpassen zu müssen. Für die Modellgenerierung wird eine Pipeline von mehreren Verarbeitungsschritten durchlaufen wie sie in Abbildung 2 dargestellt ist.

In der ersten Pipelinestufe erfolgt zunächst ein Auslesen der Metadaten zu den referenzierten Griddatensätzen, die zur Erzeugung eines X3D-Höhenfeldes dienen sollen. In der folgenden Analysephase werden die Griddatensätze für das Mapping als Höhenwerte, die flächige Einfärbung des Höhenfeldes und das Setzen von Highlights auf dem Höhenfeld ermittelt und geprüft.

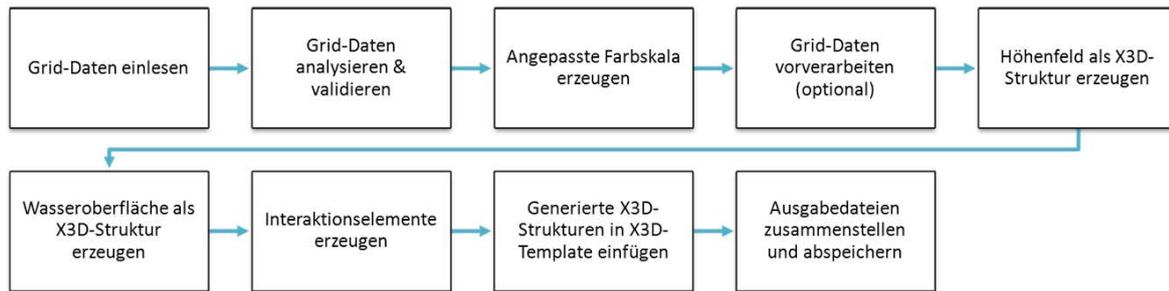


Abbildung 2: Verarbeitungsschritte des Modellgenerierungsprozesses.

Die Anpassung der Farbskala beinhaltet die Erzeugung einer beschrifteten Farbskalengrafik zur Einbindung in das erzeugte X3D-Modell sowie die Vorbereitung der Farbbelegung des erzeugten X3D-Höhenfeldes. Für die Einfärbung gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Einfärbung entsprechend der Höhenwerte des Ausgangsdatensatzes
- Einfärbung entsprechend der Werte eines anderen korrespondierenden Griddatensatzes (z. B. von statistischen Parametern zu den Zellenwerten)
- Zusätzliche Einfärbung von besonderen Zellen des Gitters auf Basis eines weiteren korrespondierenden Griddatensatzes (Highlighting)

Die Einfärbung erfolgt wahlweise durch das Generieren einer 1D-Farbtexur mit dem X3D-Knoten `<PixelTexture>` und das Aufspannen dieser Texur auf das Höhenfeld mit dem Knoten `<TextureCoordinate>`. Die alternative Möglichkeit zur Einfärbung eines X3D-Höhenfeldes ist die Referenzierung eines `<Color>`-Knoten mit einem Feld von Farbwerten das die gleiche Dimension wie das Höhenfeld selbst besitzen muss.

Zu den anschließenden möglichen Vorverarbeitungsschritten gehören

- Reduktion des Ausgangsgrids durch Sampling (gesteuert durch die Angabe einer maximalen Anzahl von Griddatenwerten im erzeugten Grid)
- Unveränderte Übernahme der Ausgangsgrid-Datenwerte in das X3D-Grid
- Tiling des Ausgangsgrids in mehrere aneinandergrenzende X3D-Grids

Zur Erzeugung der Wasseroberfläche wird nach der Generierung des X3D-Höhenfeldes für den Meeresboden ein zweites X3D-Höhenfeld erzeugt, das durchgehend die Höhe 0 hat.

Zu den erzeugten Interaktionselementen gehören Schieberegler zur Steuerung der Transparenz der Wasseroberfläche und der Überhöhung des X3D-Höhenfeldes (Exaggeration), um ihre dreidimensionale Struktur zu verdeutlichen, sowie zur vertikalen Verschiebung der Wasseroberfläche.

Abschließend werden das generierte X3D-Modell und zusätzliche, mit dem Template bereitgestellte Dateien (z. B. Skripte, UI-Elemente, weitere eingebundene X3D-Dateien) zusammengestellt.

Für die Implementierung des Konzeptes wurde mit Java 6 und Maven eine Konvertierungsbibliothek entwickelt. Zum Einlesen von netCDF- und HDF-Dateien wird die Java-Fassung der netCDF-Bibliothek, Version 4.2 verwendet [Uni]. Das Framework stellt für die Realisierung des Generierungsworkflows mehrere spezialisierte Komponenten bereit. Dazu gehören speziell Komponenten zur Erzeugung von X3D-Höhenfeldern (*ElevationGrid*-Knoten und geographisch korrekt positionierte *GeoElevationGrid*-Knoten) sowie zur Erzeugung und X3D-Aufbereitung angepasster Farbskalen. Für die Einfärbung der Höhenfelder werden Farbskalen im cpt-Format der in den Geo- und Meereswissenschaften verbreiteten Werkzeugsammlung *Generic Mapping Tools (GMT)* [WS12] unterstützt. Die Konfiguration des Generierungsprozesses erfolgt mittels Kommandozeilenparametern, per Konfigurationsdatei (properties, yaml, json), oder programmatisch mit einem speziellen Konfigurationsobjekt. Optional kann der Nutzer bei der Konfiguration durch eine GUI unterstützt werden (Abbildung 3). Aktuell werden netCDF-Datensätze unterstützt, die zweidimensionale koordinatenbasierte Datengrids enthalten (allgemeine netCDF-Konvention). Dazu gehören z. B. die Bathymetrie-Datensätze des IOW für die Ostsee oder der weltweite ETOPO1.

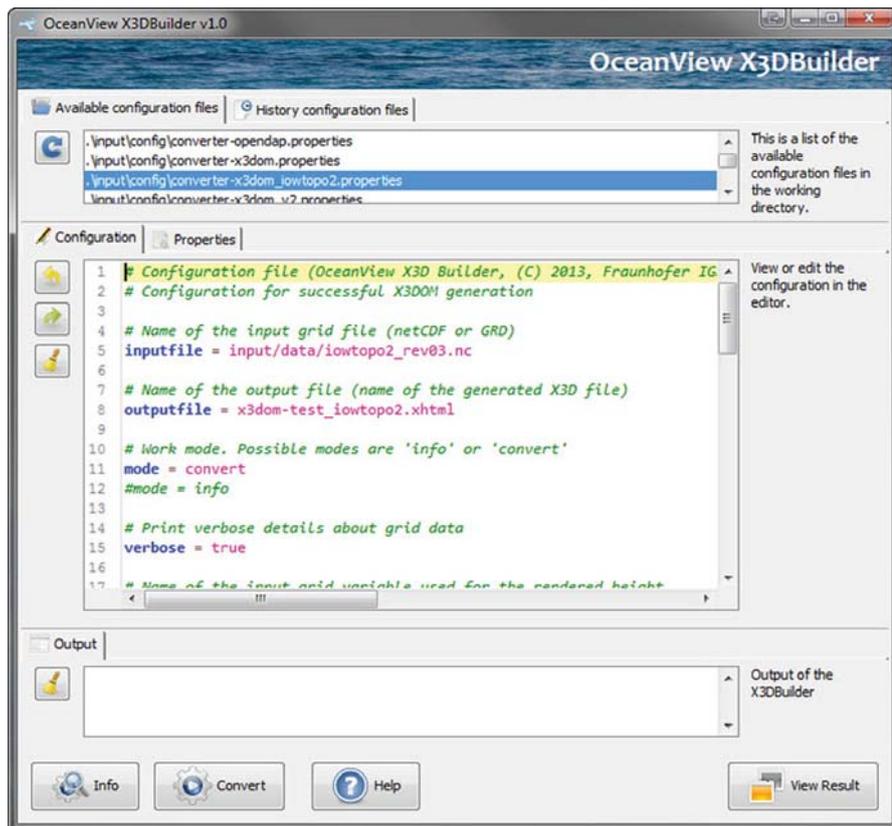


Abbildung 3: GUI zur Konfiguration und Kontrolle des Generierungsprozesses.

5 Analytische Anwendungen

Die generierten interaktiv manipulierbaren und navigierbaren 3D-Meeresmodelle erlauben eine Reihe von explorativen und konfirmativen Analysen der zugrundeliegenden georeferenzierten Datensätze, um bei verschiedenen Fragestellungen z. B. der Meeresforschung, der Meeresbodenexploration oder des marinen Küstenzonenmonitorings Unterstützung zu leisten. Dazu gehören die folgenden Beispiele:

1. Die detaillierte interaktive Analyse der räumlichen Struktur des Meeresbodens durch die Betrachtung aus verschiedenen Blickwinkeln, um z. B. mögliche Artefakte oder tatsächlich existierende morphologische Besonderheiten des visualisierten Datensatzes zu entdecken.
2. Der Verschnitt bzw. die lagerichtige Überlagerung verschiedener Geodatenmodelle in einer interaktiven Visualisierung zur geographischen Einordnung eines Datensatzes, z. B. auf einem virtuellen Globus. Wei-

terhin bietet sich dabei die Möglichkeit, Abweichungen zwischen verschiedenen überlagerten Datensätzen zu erkennen.

3. Visuelle Untersuchungen der Folgen ansteigender Meerwasserstände (Sealevel rising) durch einen stufenlos änderbaren Meeresspiegel.
4. Visuelle Untersuchungen verschiedener statistischer Qualitätsmaße für die Genauigkeit und Datenqualität der dargestellten Bathymetriedatensätze sowie Analysen der enthaltenen Unsicherheiten (Uncertainty). Dazu werden ausgewählte, den Gridknoten zugeordnete statistische Parameter (z. B. Anzahl der zugrundeliegenden Einzelmesswerte, Herkunft der Daten, Schwankung der Höhenwerte) zur Einfärbung und zum Highlighting des erzeugten X3D-Höhenfeldes verwendet, statt wie sonst die Höheninformationen.

Des Weiteren können die generierten interaktiven 3D-Unterwassergeländemodelle als Basisvisualisierung für weitere analytische Datenvisualisierungen verwendet werden. Denkbar sind hier die Einbindung der Ergebnisdaten von realen marinen Tracer-Experimenten oder berechneten Ausbreitungssimulationen mit Hilfe von Partikelsystemen, so dass dabei frei navigierbare 4D-Visualisierungen entstehen.

5.1 Erste Ergebnisse

Die Eignung des entworfenen Generierungsansatzes wurde mit zwei frei verfügbaren Bathymetriedatensätzen geprüft, die durch das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) zusammengestellt wurden [STK08]. Die Abbildung 4 zeigt Screenshots automatisch generierter 3D-Meeresmodelle auf Basis der Ostsee-Topographie im Instant Reality-System für einige der zuvor genannten Anwendungsbeispiele.

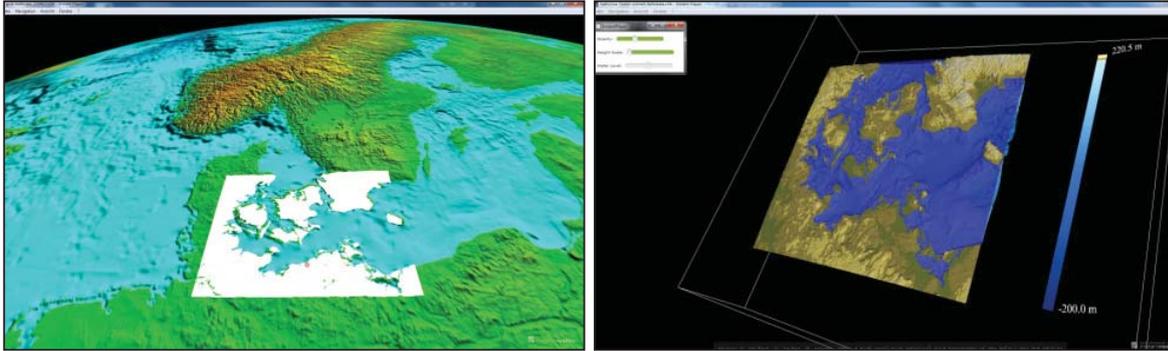


Abbildung 4: Geographisch lagerichtiger Verschnitt mit verschiedenen Geodatensätzen (links).
Einfache Anwendung zur visuellen Untersuchung ansteigender Meerwasserstände (rechts).
Mittels Schieberegler kann der virtuelle Meeresspiegel, dessen Transparenz sowie die Überhöhung
der Topographie stufenlos verändert werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die ersten Ergebnisse des Generierungsframeworks und Versuche mit den erzeugten X3D- und X3DOM-Modellen sind vielversprechend. Die generierten 3D-Meeresmodelle sind standardkonform und können daher auch in anderen X3D-Umgebungen als Instant Reality genutzt werden. Die generierten X3DOM-Modelle laufen in aktuellen WebGL-fähigen Browsern flüssig und ohne zusätzliche Plugins. Der Ansatz hat seine Flexibilität gezeigt und konnte auch mit anderen bathymetrischen Datensätzen wie ETOPO1 erfolgreich getestet werden. Bei Modellen mit Höhenfeldern moderater Größe wie aus den untersuchten Ostsee-Datensätzen werden in Instant Reality auf aktuellen PCs (Core i5-2400, 3,1 GHz, 8GB RAM und nVidia GeForce 210) interaktive Frameraten erreicht.

Weitere Arbeiten und Tests sind noch für die Visualisierung sehr großer Datensätze nötig. Im X3D-Standard und in der Literatur finden sich jedoch erfolgversprechende Ansätze für das performante Laden und Rendern großer deklarativer 3D-Szenen, z. B. die Verwendung von LOD-Knoten, Techniken wie VBO (vertex buffer objects) oder Sequential Image Geometries (SIG) [BJF+12].

Weitere Arbeiten sollten sich auf die Verbindung der geschaffenen Basis-Visualisierungen mit Echtzeitdaten oder den Ergebnissen komplexerer Modellrechnungen konzentrieren, z. B. für eine realistischere Untersuchung verschiedener realer oder simulierter Meerwasserstände.

Literatur

- [BEJ+09] Behr, J.; Eschler, P.; Jung, Y.; Zöllner, M.: X3DOM - a DOM-based HTML5/ X3D integration model. Proceedings of Web3D 2009: The 14th International Conference on Web3D Technology (2009), 127–135.
- [BJF+12] Behr, J.; Jung, Y.; Franke, T.; Sturm, T.: Using images and explicit binary container for efficient and incremental delivery of declarative 3D scenes on the web. In: Proceedings, Web3D 2012 - 17th International Conference on 3D Web Technology, 2012, S. 17–25.
- [BJK+10] Behr, J.; Jung, Y.; Keil, J.; Drevensek, T.; Zöllner, M.; Eschler, P.; Fellner, D.: A scalable architecture for the HTML5/X3D integration model X3DOM. In: Web3D Symposium Proceedings, 2010, S. 185–194.
- [Fra12] Fraunhofer IGD: Instant Reality. (2012). www.instantreality.org
- [LCK+11] Li, W.; Chen, G.; Kong, Q.; Wang, Z. ; Qian, C.: A VR-Ocean system for interactive geospatial analysis and 4D visualization of the marine environment around Antarctica. In: Computers and Geosciences 37 (2011), Nr. 11, S. 1743–1751.
- [McC04] McCann, M. P.: Using GeoVRML for 3D oceanographic data visualizations. In Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology (2004), ACM, S. 15–21.
- [ML58] Miller, C.L. ; Laflamme, R.A.: The Digital Terrain Model: Theory & Application. MIT Photogrammetry Laboratory, 1958.
- [Pul02] Pullar, D.: Using VRML to visualise landscape change and process. In: Cartography 31 (2002), Nr. 1, S. 1–10.
- [RDE+11] Rew, R.; Davis, G.; Emmerson, S.; Davies, H.; Hartnett, E.; Heimbigner, D.; Fisher, W.: The NetCDF User’s Guide - Creating Self-

Describing Data conforming to Conventions, 2011. <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/netcdf.html#Conventions>.

- [RGK12] Ruth, T.; Gladisch, S.; Kiehl, S.: Generierung interaktiver Bathymetriemodelle für Mixed Reality-Umgebungen. In: Paul, Lothar u.a. (Hrsg.): 3D-NordOst 2012: 15. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten. Berlin, 2012, S. 137-146.
- [STK08] Seifert, T.; Tauber, F.; Kayser, B.: A high resolution spherical grid topography of the baltic sea - Revised edition. In: Baltic Sea Science Conf., Stockholm, 2001, Poster No.147. www.io-warnemuende.de/iowtopo. – letzte Akt. des Datensatzes 16.Januar 2008.
- [Uni] Unidata Program Center: NetCDF (Network Common Data Form). www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/
- [Web11] WEB3D Consortium: Extensible 3d (X3D). <http://www.web3d.org/x3d/specifications>, (2011).
- [WS12] Wessel, P.; Smith, W. H. F.: The Generic Mapping Tools (GMT). <http://gmt.soest.hawaii.edu>, (2012).

3D-Erfassung

Untersuchung von Low-Cost-Digitalisierungssystemen für industrielle Anwendungen

Lisa Knaack, Michael Geist

Entwicklungsteam Messtechnik

Fraunhofer Anwendungszentrum für Großstrukturen in der Produktionstechnik

Albert-Einstein-Straße 30

18059 Rostock, Deutschland

lisa.knaack@hro.ipa.fraunhofer.de

michael.geist@hro.ipa.fraunhofer.de

Abstract: Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Untersuchung von Low-Cost-Digitalisierungssystemen hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit im industriellen Umfeld. Es wird beschrieben, welche Ergebnisse bei einem Testaufbau mit zwei unterschiedlichen Scansystemen erreicht werden konnten und welche Rückschlüsse diese auf eine Nutzung für industrielle Anwendungen zulassen. Zur Prüfung standen das von der Technischen Universität Braunschweig entwickelte DAVID-Laserscanner-System sowie der ASUS Xtion Pro Live Sensor zur Verfügung. Als Verifizierungssystem wurde der Streifenlichtprojektor ATOS III der Firma GOM verwendet.

1 Einleitung

Die technische Entwicklung von flächenhaften Messsystemen ist in den letzten Jahren rasant vorangeschritten, so dass sie durch ihre immer besseren Eigenschaften hinsichtlich Gewicht, Größe, Bedienfreundlichkeit, Auflösung, Genauigkeit und Aufnahmegeschwindigkeit in immer mehr Industriezweigen zum Einsatz kommen. Eine ähnliche Entwicklung ist auch im Bereich der Low-Cost-Sensoren zu beobachten. Durch die vielen neu erschlossenen Anwendungsfelder für Privatkunden, wie z. B. 3-D-Heimdrucker, ist die Nachfrage an kostengüns-

tigen Sensoren zur Digitalisierung von kleinen Objekten gestiegen. Inwieweit sich die Systeme auch für Industrieanwendungen einsetzen lassen und welche Genauigkeiten erreicht werden können, wird in diesem Artikel anhand von Versuchsmessungen untersucht.

2 Messsysteme

Als Vertreter der Low-Cost-Scanner wurden der von der Technischen Universität Braunschweig entwickelte DAVID-Laserscanner und der von ASUS herausgebrachte Xtion Pro Live Sensor verwendet (Abbildung 1). Der ASUS-Sensor entspricht im Wesentlichen dem Kinect-Sensor der Xbox 360, weist aber in einigen technischen Eigenschaften geringfügige Unterschiede auf.



Abbildung 1: Verwendete Scanner-Systeme, links ASUS Xtion Pro Live [ASUS1], rechts DAVID-Laserscanner [DAVID]

Alle verwendeten Messsysteme sind berührungslose Systeme, deren Funktionsweise im Folgenden näher beschrieben werden soll. Der DAVID-Laserscanner besteht aus einer Kamera und einem Laser, die beide unabhängig voneinander ausgerichtet werden können, so dass eine Anpassung an das Messobjekt vorgenommen werden kann. Der variable Messaufbau hat jedoch zur Folge, dass nach jeder Veränderung eine Kalibrierung des Laserscanners mit Hilfe eines Kalibrierhintergrundes notwendig ist. Der Kalibrierhintergrund und die Kamera dürfen nach dem Kalibriervorgang in ihrer Position nicht mehr verändert werden. Zur Bestimmung der 3-D-Koordinaten des Objektes wird mit dem handgeführten Laser das Messobjekt abgefahren. Die dadurch auf dem Objekt und dem Hintergrund entstehende Lichtebene wird durch die Kamera erfasst. Anschließend

können durch den bekannten Hintergrund die 3-D-Koordinaten der Laserebene bestimmt werden. Auf Grundlage dessen können die Koordinaten des Messobjektes durch Verschneidung der Laserebene und der Kamerastrahlen trianguliert werden [WMW06]. Die Genauigkeit des Systems wird durch den Hersteller mit ca. 0,5% der Objektgröße angegeben. Bei dem verwendeten Prüfkörper mit einer Größe von ca. 1000 mm ergibt das eine Genauigkeit von 5 mm. Bei der Verwendung des im Starter-Kit enthaltenen Kalibrierhintergrunds können Objektgrößen von 10 mm - 40 mm erfasst werden [DAVID]. Da der Hintergrund aber beliebig groß skaliert werden kann, sind auch Messungen von größeren Objekten möglich.

Der ASUS Xtion Pro Live besteht aus den Komponenten Infrarotprojektor, Infrarotkamera, RGB Kamera und Mikrofon. Zur Messung eines Objektes wird von dem Projektor ein Laserstrahl ausgesendet, der zu einem konstanten Punktmuster aufgespalten wird, welches auf das Messobjekt projiziert wird. Parallel dazu wird das Muster durch die Infrarotkamera erfasst und mit einem Referenzmuster verglichen. Dieses Referenzmuster ist für einen bestimmten Abstand zum Sensor bekannt und im Sensor gespeichert. Je nach Entfernung ist das erfasste Punktmuster in Richtung der Basis verschoben. Die Basislinie wird durch den Projektor und die Infrarotkamera aufgespannt. Die entstandene Verschiebung zwischen den Mustern wird für jeden Punkt bestimmt, so dass ein Verschiebungsbild entsteht. Daraus kann für jeden Punkt die Distanz zum Sensor berechnet werden und daraus wiederum, in Verbindung mit den Kameraparametern, die Koordinaten der Objektpunkte. Als Ergebnis entsteht eine Punktwolke des gescannten Bereiches. Durch die Verknüpfung der Daten der Infrarotkamera mit der RGB Kamera ist eine Einfärbung der Punktwolke möglich [Kh11]. Eine Angabe des Herstellers bezüglich der Genauigkeit des Systems gibt es nicht, da der ASUS Xtion Pro Live als Sensor zur Bewegungssteuerung auf den Markt gebracht wurde und nicht als Messinstrument. Vom Hersteller wird aber der Arbeitsbereich zwischen 0,8 m und 3,5 m angegeben [ASUS2].

Zusätzlich zu den Low-Cost-Scansystemen wurde der ATOS III Streifenlichtprojektor von GOM als Referenzsystem verwendet. Streifenlichtprojektoren arbeiten nach dem Triangulationsprinzip. Im einfachsten Fall bilden dabei ein Projektor, eine Kamera und das Messobjekt ein Triangulationsdreieck. Die Basis für die Triangulation, die durch Kalibrierung bestimmt wird, wird durch den Projektor und die Kamera aufgespannt. Zusätzlich dazu muss die Aufnahmerichtung zu

jedem einzelnen erfassten Objektpunkt bestimmt werden. Dafür wird, durch die Auswertung des auf das Messobjekt projizierten Streifenmusters, die Richtung zu jedem Objektpunkt ermittelt. Für diesen Berechnungsschritt werden die Verfahren codierter Lichtansatz, das Phase-Shift-Verfahren oder eine Kombination beider Ansätze herangezogen. Aus den bekannten und ermittelten Werten können dann, über einen Vorwärtsschnitt, die einzelnen 3-D-Punkte des Messobjektes berechnet werden. Die angegebene Genauigkeit des verwendeten Messsystems liegt laut Prüfprotokoll für

- die Antastabweichung bei 0,008 mm,
- die Kugelabstandsabweichung bei 0,025 mm und
- die Ebenheitsabweichung bei 0,012 mm.

Die Genauigkeit wurde nach dem Verfahren der Abnahme der VDI bestimmt und bezieht sich auf ein Messvolumen von $554 \times 566 \times 566 \text{ m}^3$. Je nach Messfeldgröße variieren der Messabstand sowie die Genauigkeit des Systems. Generell wird der Messabstand mit 760 mm - 2800 mm bei Messvolumen von $150 \times 150 \times 130 \text{ mm}^3$ bis $2000 \times 2000 \times 2000 \text{ m}^3$ angegeben [GO09].

3 Prüfkörper und Versuchsaufbau

Zur Prüfung der Leistungsfähigkeit der ausgewählten Scanner-Systeme wurde ein Prüfkörper (Abbildung 2) entwickelt, der Aufschluss über das Auflösungsvermögen, die Fähigkeit zur Messung von gekrümmten Flächen, der minimale Erkennungsgröße sowie der Genauigkeit von extrahierten Größen gibt. Darüber hinaus ist es Ziel die Fähigkeit zur Ableitung von geometrischen Grundkörpern aus den Scandaten der Low-Cost-Systeme zu untersuchen, da dies für viele Anwendungsfälle relevant ist. Zur Feststellung der Leistungsfähigkeit wurden unterschiedliche geometrische Körper in geeigneter Form starr angeordnet. Die Geometriekörper sind aus Aluminium gefertigt und mit einem grauen Lack grundiert. Eine Grundierung ist notwendig, da der DAVID-Laserscanner bei stark reflektierenden Oberflächen häufig unzureichende Messergebnisse liefert.

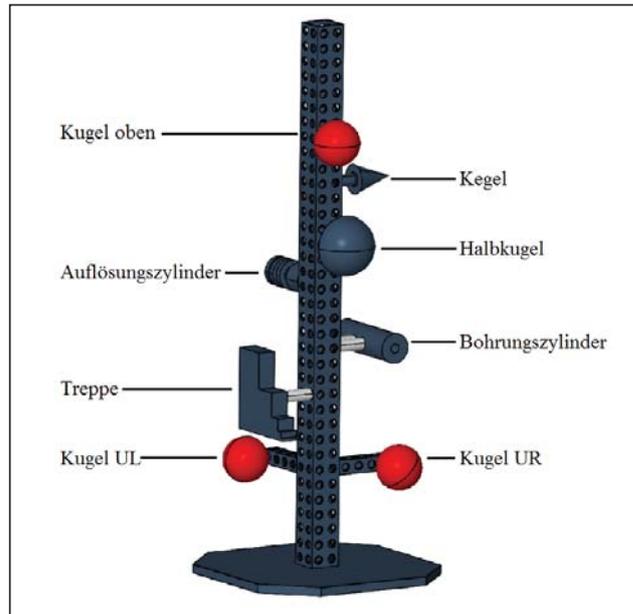


Abbildung 2: CAD-Modell des Prüfkörpers

Zur Digitalisierung des Prüfkörpers wurde ein Messaufbau mit einem stationären Sensorsystem und einem rotierenden Prüfkörper umgesetzt. Dazu wurden bei beiden Systemen der Prüfkörper drehbar gelagert und die Sensoren auf Stativen oder Podesten montiert. Die Höhe der Stative variierte bei beiden Messsystemen, so dass durch Abschattung entstandene Lücken im Modell durch eine Messung von oben und unten geschlossen werden konnten. Zusätzlich zu den Stativen und den Scan-Systemen wird beim DAVID-Laserscanner ein Kalibrierhintergrund zur Kalibrierung der Kamera benötigt. Die grundsätzlichen Aufbauten beider Scanner sind in Abbildung 3 dargestellt.

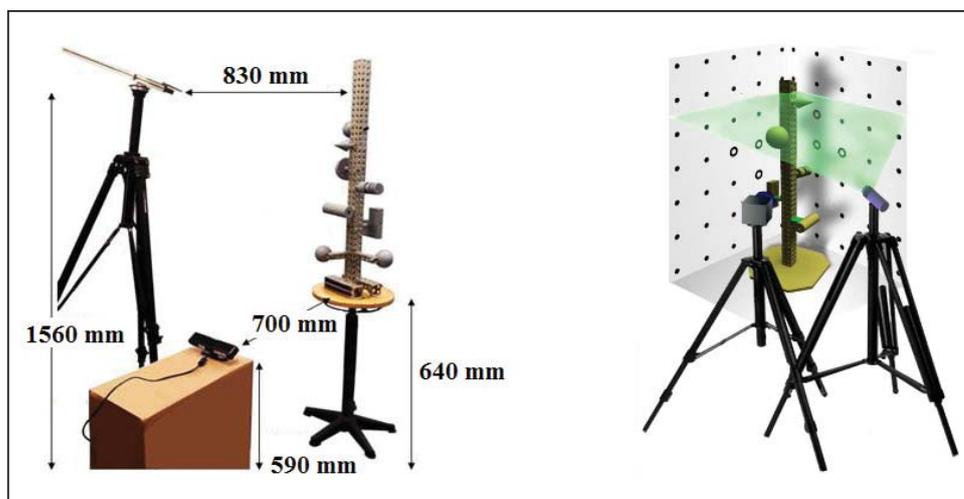


Abbildung 3: links: Messaufbau ASUS Xtion Pro Live, rechts: Messaufbau DAVID-Laserscanner

4 Durchführung

4.1 ATOS III Streifenlichtprojektor

Zur Auswertung der Scanergebnisse der Low-Cost-Sensoren wurde der Prüfkörper zusätzlich mit dem GOM ATOS III Streifenlichtprojektor aufgenommen. Dafür wurde der Prüfkörper aus unterschiedlichen Aufnahmerichtungen digitalisiert und durch die Software zu einem 3-D-Modell zusammengefügt. Die Streifenlichtmessung dient als Referenzmessung, so dass das erzeugte 3-D-Modell als Soll-Modell für die Soll-Ist-Vergleiche verwendet wurde. Das für die Fertigung des Prüfkörpers erstellte CAD-Modell kann in diesem Fall auf Grund von Montage- und Fertigungsabweichungen nicht als Referenz verwendet werden.

4.2 DAVID-Laserscanner

Vor dem Scannen mit dem DAVID-Laserscanner erfolgte die Einstellung der Kameraparameter, so dass sie dem Messfeld und den Bedingungen angepasst sind, sowie eine Kalibrierung der Kamera mit dem Kalibrierhintergrund. Der Messaufbau muss während der gesamten Aufnahme eines Einzelscans unverändert bleiben. Für Messungen von einer anderen Kameraposition muss eine erneute Kalibrierung durchgeführt werden.

Im Anschluss wurde der Prüfkörper mit Hilfe der DAVID-Software digitalisiert. Dafür wurde das Messobjekt manuell in 45°-Schritten gedreht, so dass für jede Aufnahmerichtung acht Einzelaufnahmen entstanden sind. Diese wurden anschließend mit der Shape-Funktion der Software zu einem 3-D-Modell zusammengefügt.

4.3 ASUS Xtion Pro Live

Für die Digitalisierung mit dem ASUS Xtion Pro Live wird die Software ReconstructMeQt verwendet. Eine Kalibrierung des ASUS-Systems ist prinzipiell möglich, wird derzeit jedoch nicht von der Software unterstützt. Die Ergebnisse einer durchgeführten Kalibrierung können daher nicht verwendet werden, so dass in diesem Fall auf eine Kalibrierung verzichtet wurde.

Zum Scannen des Prüfkörpers wurde dieser jeweils für die Aufnahme von oben und unten manuell gleichmäßig gedreht und parallel mit dem Sensor beobachtet. Als Ergebnis lagen zwei Scans vor, die für die weitere Verarbeitung exportiert wurden. Die Bereinigung der Daten, sowie das Zusammenfügen beider Einzelscans erfolgte in der DAVID-Software.

5 Auswertung

Für die Auswertung der Daten wurden die geometrischen Eigenschaften der gescannten Prüfgeometrien mit denen des Streifenlicht-Modells verglichen. Dies wurde mit der Software GOM Inspect durchgeführt, da sowohl die DAVID-Software als auch ReconstructMeQt keine umfangreichen Auswertetools zur Verfügung stellen.

Um Aussagen über die Leistungsfähigkeit der vorgestellten Scan-Systeme treffen zu können, wurden die Daten zum einen lokal und zum anderen global ausgewertet. Für die lokale Auswertung wurden die einzelnen Prüfgeometrien für sich betrachtet, so dass dort jeweils ein lokaler Best-Fit durchgeführt wurde. Anschließend konnten die geometriegebenden Eigenschaften, wie z. B. Kugeldurchmesser, mit denen des Soll-Modells verglichen sowie ein flächenhafter Soll-Ist-Vergleich durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Geometrieprüfung beider Scanner sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Körper	Sollmaß [mm]	Abweichung ASUS [mm]	Abweichung DAVID [mm]	
Kugel oben	ø 76,20	3,29	2,35	
Kugel UL	ø 76,20	2,77	1,71	
Kugel UR	ø 76,20	2,88	4,65	
Halbkugel	ø 100,00	3,15	-1,85	
Bohrungszylinder	ø 49,60	3,06	3,9	
Bohrung Bohrungszylinder	ø 15,00	-	-	
Abstand Kegelspitze - Baum	96,55	8,91	0,58	
Kegelwinkel	20°	0,61°	0,16°	
Abstand Kegelspitze	1,55	-7,38	2,37	
Auflösungszylinder				
Zylinder 1	ø 49,00	2,81	1,14	
Zylinder 2	ø 29,00	6,8	0,19	
Zylinder 3	ø 49,00	nur als 1 Zylinder wahrgenommen -1,24	-	
Zylinder 4	ø 29,00		-	
Zylinder 5	ø 49,00		2,13	
Zylinder 6	ø 29,00		-	
Zylinder 7	ø 49,00		1,57	
Treppe				
Winkel 1_2	90°		6,27°	-1,04°
Winkel 2_3	89,86°	2,78°	-0,92°	
Winkel 3_4	89,94°	-	-2,69°	
Winkel 4_5	90°	46,82°	-	
Winkel 5_6	89,72°	-	-3,15°	
Winkel 6_7	90,56°	-	27,35°	
Winkel 7_8	93,25°	-	16,65°	

Tabelle 1: Geometrieabweichungen zum Sollmaß

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass der DAVID-Laserscanner insgesamt bessere Ergebnisse liefert. Die Abweichungen liegen zumeist bei 1,5 mm bis 2,5 mm im Gegensatz zu dem ASUS Xtion Pro Live, dessen Abweichungen bei ca. 3 mm oder höher liegen. Auch die Winkelabweichungen sind beim DAVID-Scanner wesentlich geringer und zusätzlich dazu konnten auch die kleineren Stufenabsätze der Treppe noch erkannt werden. Die Abweichungen in dem Bereich liegen jedoch um ein Vielfaches höher als bei den großen Absätzen.

Eine ähnliche Tendenz lässt sich auch bei den Falschfarbenbildern der Soll-Ist-Vergleiche feststellen. Die Scanergebnisse für die Treppe sind in Abbildung 4 dargestellt. An den unteren kleinen Treppenstufen wird sichtbar, dass das Auflösungsvermögen des ASUS-Systems schlechter ist als das des DAVID-Laserscanners.

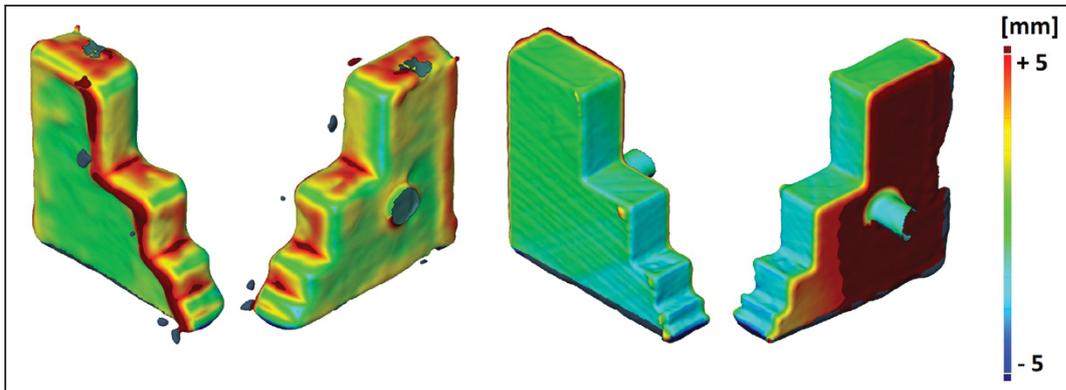


Abbildung 4: Falschfarbenvergleich Treppe - links: ASUS, rechts: DAVID

Ebenfalls ersichtlich ist, dass beim ASUS besonders große Abweichungen im Kantenbereich auftreten und in den restlichen Bereichen eine mittlere Abweichung von ca. 1 mm bis 2 mm. Bei dem DAVID-Laserscanner hingegen unterscheiden sich die Abweichungen zwischen Kanten und Flächen nur geringfügig, auch wenn die Innen- und Unterseite ebenfalls größere Abweichungen aufweisen.

Bei der Erfassung der Kugeln konnte mit dem ASUS-System insgesamt ein kompletteres Modell erzeugt werden. Die Qualität der Daten ist jedoch schlechter als beim DAVID-Laserscanner (Abbildung 5).

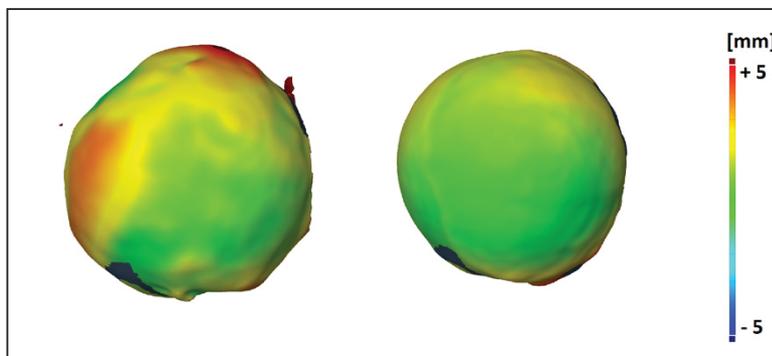


Abbildung 5: Falschfarbenvergleich Kugel oben - links: ASUS, rechts: DAVID

Die Kugel ist beim ASUS sehr unrund und wellig und weist daher Formabweichungen zwischen 2 mm und 5 mm auf. Mit dem DAVID-System hingegen ist eine relativ homogene Kugel entstanden mit Abweichungen bis zu 2 mm.

Die Grenzen beider Systeme werden vor allem am Kegel und am Auflösungszyylinder sichtbar. Sowohl der ASUS- als auch der DAVID-Scanner sind nur bedingt in der Lage, die Kegelspitze ausreichend genau zu erfassen. Zwar ist die Spitze beim DAVID wesentlich ausgeprägter, weist aber auch insgesamt größere Abweichungen zum Soll auf. Und auch die ebene Grundfläche des Kegels konnte kein System ausreichend erfassen (Abbildung 6).

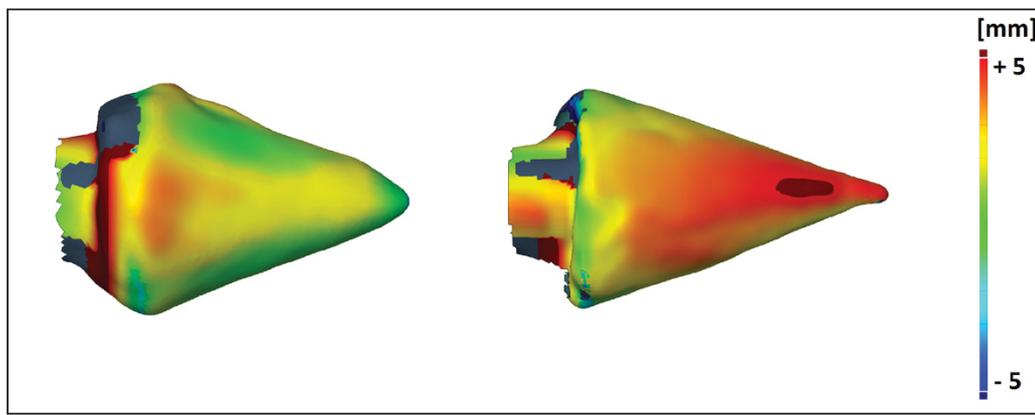


Abbildung 6: Falschfarbenvergleich Kegel - links: ASUS, rechts: DAVID

Die detailreichere Aufnahme des Auflösungszyinders konnte auch hier wieder mit dem DAVID-Scanner erreicht werden (Abbildung 7). Jedoch können die immer kleiner werdenden Zwischenräume zwischen den Einzelzylindern nur mit einer immer schlechter werdenden Zuverlässigkeit erfasst werden. Dies hat zur Folge, dass das Fitten an das Soll-Modell durch die zwar vorhandenen, aber schlechten Daten erheblich erschwert wird. Insgesamt entstehen dadurch Abweichungen von größer 5 mm.

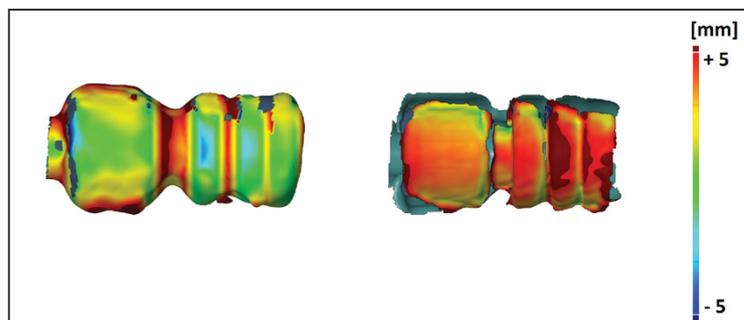


Abbildung 7: Falschfarbenvergleich Auflösungszyylinder - links: ASUS, rechts: DAVID

Mit dem ASUS konnten die Zwischenräume nur bedingt bis gar nicht erfasst werden, so dass ein Modell mit einem fast durchgehenden Zylinder entstanden ist. Dieser passt sich dem Soll-Modell insgesamt besser an, da die zumeist fehlerbehafteten Zwischenräume nicht zum Tragen kommen. Dies soll aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die eigentliche geometrische Form durch den ASUS gar nicht erfasst wurde.

Neben der Betrachtung der lokalen Abweichungen für jedes Geometrieelement erfolgte zusätzlich eine globale Auswertung. Dafür wurden die Abstände zwischen einigen Geometrien zueinander verglichen. Das Fitten erfolgte in diesem Fall nicht lokal für jede Geometrie, sondern global über alle Körper. Verglichen wurden dann die Abstände zwischen den Kugelmittelpunkten, dem Lotfußpunkt des Kegels sowie dem Mittelpunkt der Halbkugel. Die Ergebnisse der Abstandsabweichungen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Körper	Sollmaß [mm]	Abweichung ASUS [mm]	Abweichung DAVID [mm]
Kugel UL - Kugel oben	581,27	0,82	0,60
Kugel UL - Kugel UR	256,25	0,39	2,53
Kugel UR - Kugel oben	562,68	0,18	2,64
Kugel UR - Kegel Lotpunkt	484,49	-0,31	0,88
Halbkugel - Kugel UR	386,91	-0,55	1,03

Tabelle 2: Übersicht Abstandsabweichungen

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Abweichungen beim ASUS-Scanner um ein Vielfaches geringer sind als die des DAVID-Laserscanners. Dies ist im Vergleich zu den lokalen Abweichungen der Geometriekörper ein konträres Ergebnis. Ursache dafür ist, dass beim ASUS das 3-D-Modell lediglich aus zwei Einzelscans zusammengesetzt wurde und eine Aufsummierung der Ausrichtefehler entfällt. Zur Erzeugung des 3-D-Modells des DAVID-Scans war es erforderlich, viele Einzelscans zusammen zu fitten. Dabei wurden die Einzelscans nacheinander aneinander gefittet, wobei der Letzte immer nur zu den vorherigen ausgerichtet wird. Dadurch kommt es zu einer Aufsummierung der Fehler und hat zu Folge, dass die Abstandsabweichungen beim DAVID-Laserscanner größer sind.

6 Fazit & Ausblick

Durch den Versuch konnte nachgewiesen werden, dass der DAVID-Laserscanner hinsichtlich des Auflösungsvermögens, der Erfassung von gekrümmten Flächen und der Aufnahme von geneigten Flächen und Kanten wesentlich genauer arbeitet als das ASUS-Scanner-System. Doch trotzdem ist der DAVID-Laserscanner nur bedingt in der Industrie anwendbar. Die Schwächen des Systems liegen vor allem im Bereich der Kantenerfassung sowie von spitz zulaufenden und stark unterteilten Körpern. In diesen Bereichen sind meist nur Genauigkeiten von größer 5 mm erreichbar, welche für viele industrielle Anwendungen nicht ausreichend sind. Die Fähigkeit der Ableitung von geometrischen Grundkörpern aus den DAVID-Scandaten, z. B. durch eine automatische Geometrieerkennung nach [PNL08], ist mit der für den Versuch gewählten Konfiguration noch nicht ausreichend genau möglich.

Die Erfassung von flächigen und leicht gekrümmten Objekten ist mit dem DAVID-Laserscanner jedoch mit einer Genauigkeit von 2 mm bis 3 mm möglich. Dies ermöglicht die Anwendung des Systems für einfache Flächenprüfungen z. B. im Schiffbau. Dort sind im Bereich der Einzelteil- und Panelfertigung nur Genauigkeiten von einigen Millimetern gefordert [VSM03], so dass in diesem Bereich der Einsatz des DAVID-Laserscanners denkbar ist. Vor allem für die Prüfung der Ebenheit kleinerer Bauteile ist das DAVID-System eine mögliche kostengünstige Alternative zu herkömmlichen Hochleistungslaserscannern. Inwieweit sich die Genauigkeit unter Fertigungsbedingungen verändert, muss in weiteren Versuchen analysiert werden, da gerade die vorherrschenden Lichtverhältnisse und die gleichmäßige Führung des Lasers einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein Einsatz des DAVID-Laserscanners in der Industrie denkbar ist. Zur Verifizierung müssen jedoch noch weiterführende Prüfungen, beispielsweise nach VDI, durchgeführt werden, um Informationen zur erreichbaren Genauigkeit zu erhalten. Darüber hinaus sollte eine Prüfung des Auflösungsvermögens, z. B. mittels Böhler-Stern [HKS11], durchgeführt werden, um die Grenzen des DAVID-Laserscanners definieren zu können. Erst die weiterführenden Prüfungen können darüber Aufschluss geben, ob eine tatsächliche Nutzung möglich und sinnvoll ist.

Literatur

- [ASUS1] URL: http://www.asus.de/Multimedia/Motion_Sensor/Xtion_PRO/ (18.03.2013)
- [DAVID] URL: <http://www.david-laserscanner.com/> (23.05.2013)
- [WMW06] Winkelbach, S.; Molkenstruck, S.; Wahl, F.M.: Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach. In: (K. Frank et al. Eds.): DAGM 2006, LNCS 4174, Springer Berlin Heidelberg 2006, 2006, S. 718–728.
- [Kh11] Khoshelham, K.: Accuracy Analysis of Kinect Depth Data. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W12, 2011 ISPRS Calgary 2011 Workshop, 29-31 August 2011, Calgary, Canada.
- [ASUS2] URL: http://www.asus.com/de/Multimedia/Xtion_PRO/#specifications (23.05.2013)
- [GO09] GOM mbH: ATOS Benutzerinformationen – ATOS III und ATOS III SO (ab Rev. 01) Hardware, 2009, S. 11.
- [PNL08] Pfaffenholz, J.-A.; Neumann, I.; Lindenthal, N.: Segmentierung und Datenapproximation von Laserscanneraufnahmen mittels statistischer Methode. In: (Luhmann, Müller Hrsg.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik; Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008, Wichmann, Heidelberg, 2008, S. 264-271.
- [VSM03] VSM – Verband für Schiffbau und Meerestechnik: Fertigungsstandard des deutschen Schiffbaus (FS), 2003.
- [HKS11] Huxhagen, U.; Kern, F.; Siegerist, B.: Untersuchung zum Auflösungsvermögen terrestrischer Laserscanner mittels BÖHLER-Stern. In: DGPF Tagungsband 20/2011, Mainz 2011; S. 409-418.

4D Planning: create, validate and display an assembly sequence in 3D – complemented by recording of the as-built

Dipl.-Ing. Claire Bouvet¹, Dipl.-Ing. Matthias Roth²

¹Siemens PLM Software
13, Avenue Morane Saulnier Espace Vélizy
78140 Vélizy-Villacoublay, Frankreich
bouvet.claire@siemens.com

²Siemens Industry Software GmbH & Co. KG
Lindenplatz 2
20099 Hamburg, Deutschland
matthias.roth@siemens.com

Abstract: Production, maintenance and dismantling of complex systems such as ships or power plants gain in efficiency when information can easily be accessed, when it can reliably be used and timely be processed. Manufacturing department is often waiting for design data, shop-floor is expecting updated work instructions, and maintenance execution relies on both design and fabrication data. Integrated platforms and 3D representations can significantly enhance collaboration between key stakeholders, and thus get processes executed right the first time. Because of the huge amount of parts to be fitted in tiny spaces, often subject to late design changes and to delivery delays, planners are frequently reviewing production plans to identify unfeasible assembly sequences. 4D is an innovative planning approach where you can create, visualize and validate suitable collision-free assembly sequences in a virtual environment. Validated assembly sequences can then be shared in a 3D format among key stakeholders, including foremen and workers in shop-floor. This collaborative method contributes to an optimum workforce and resource allocation,

and reduces the amount of re-work in shop-floor. Design data and fabrication information recorded in shop-floor are going to be re-used for maintenance. The “upstream” of as-built information, including date of assembly, is a powerful support for post-manufacturing processes such as training, maintenance, refit operations and recycling. The knowledge of the current as-built leads to several benefits including cost-savings, easier certification and higher quality of the produced goods.

1 Introduction

Industries of individual manufacturing are facing complex requirements and boundary conditions. Every product is different from the previous. Especially in shipbuilding and plant engineering, a high grade of complexity and many interacting trades lead to a demanding environment.

One effect is the need for an advanced manufacturing planning and documentation. In shipbuilding and in civil engineering, outfitting process consists in installing pieces of equipment inside a defined area that can be for example a steel structure, or a reinforced concrete structure. Outfitting planning includes setting a set of dependencies – also called constraints – between outfit items that belong to different trades: for example piping will be fitted just after the related mechanical equipment, but painted much later. Ideally, if those constraints are well pre-defined, a small modification in one task would automatically trigger needed modifications of dependent tasks. However, those dependencies can hardly be all defined in advance and need to be refined during planning itself. 4D concept consists in displaying 3D models over time: it will support planners in defining and refining outfitting constraints between items of different trades and in validating the build plan. For complex assembly/dismantling process, planning can even be secured by simulating the process itself, to avoid delays, quality problems and safety issues. The support of workers with relevant information on the shop floor gains importance due to the fact that every time, the production has to start from the new – there is no serial production in most shipyards, as well as in plant engineering.

Supplier product models may be updated during production, customers may change the requirements – and also production tolerances lead to changes. But all those modifications, due to the many follow-up tasks such as training, maintenance and dismantling or recycling that are making use of the product model, have to be traced back to the product model. When a change occurs, time-consuming iterations between construction and production have to be avoided – a systematic reporting of problem messages and changes supported by software tools instead of non-uniform process steps like paper notes help to maintain a high product quality and reduce costs.

A true benefit is generated by the use of the updated product model in later processes of the product lifecycle (Figure 1).

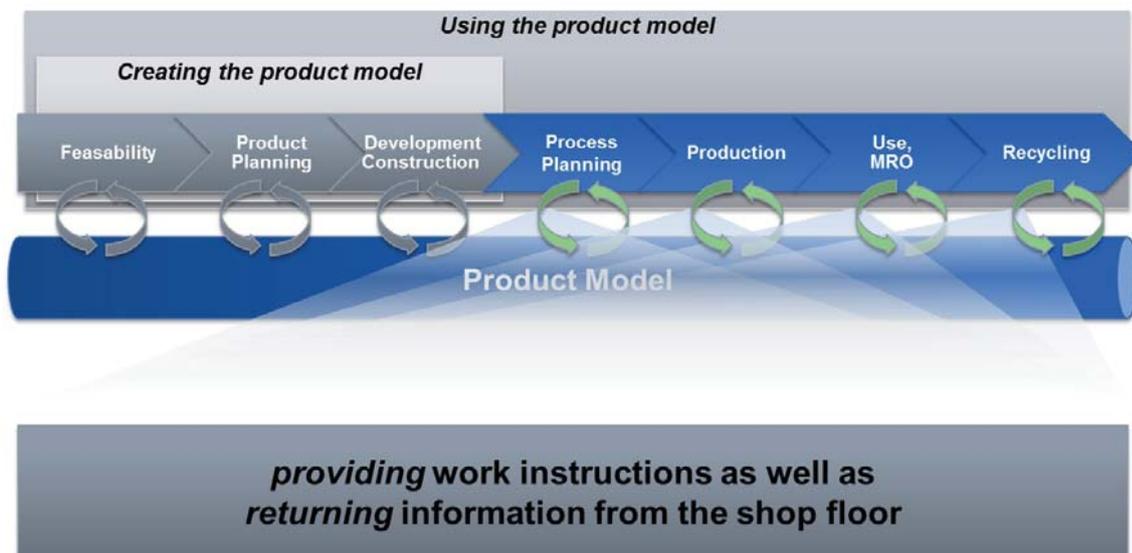


Figure 1: Focus of the article at hand, adapted from [Go3D12]

2 Lifecycle management of complex entities

Ships and plants are among the most complex products of engineering. Millions of parts, different trades like piping, steel building, electrical harness, ventilation have to be coordinated. The whole product can be represented in a consistent PLM backbone to provide access to all relevant data. This includes not only the geometry, but also sets of dependencies between production/maintenance steps, relevant documentation, requirements, analysis results, simulation and various meta data. Providing relevant information at early stages can significantly decrease the total lifecycle cost of an installation.

2.1 Challenges in outfitting and dismantling of complex entities

We will first consider characteristics of some business processes that take place during construction and decommissioning planning. Getting a reliable planning is usually considered as time-consuming, but is also recognized as a future cost saving trigger. Planners, foremen and workers are facing three main challenges when it comes to outfitting or to dismantling of complex entities such as building, ships or nuclear plants.

3D outfitting/dismantling progress visualization

Outfitting complexity strongly depends on the geometry, on the size and on the number of components to be placed in a particular compartment. Usually, the more crowded a compartment is, the more difficult it is to fit the remaining items – which can be many – and to find out a feasible assembly sequence. Most of the time, experienced planners, foremen and workers in shop-floor significantly contribute to the success of outfitting processes.

However, it is sometimes necessary to disassemble some items already installed to fit another piece of equipment that was left behind, just because the target location in the compartment is unreachable. This piece of equipment might have been delivered later than expected and the construction went on. Impacts of such unexpected events are often difficult to estimate as it supposes that you have an overall view of the compartment outfitting in term of space and over a certain period of time.

In case of decommissioning of complex systems such as nuclear power plants, process is reversed: parts need to be removed. But 3D dismantling progress visualization is still key information, because removal path are extremely complex to define. Removed components are freeing up a certain amount of space that is precious for dismantling activities.

In both cases, manufacturing planners are processing information to imagine or to visualize in digital world the outfitting or dismantling progress at a certain time. One of the main concerns is the speed and the reliability of this whole visualization process.

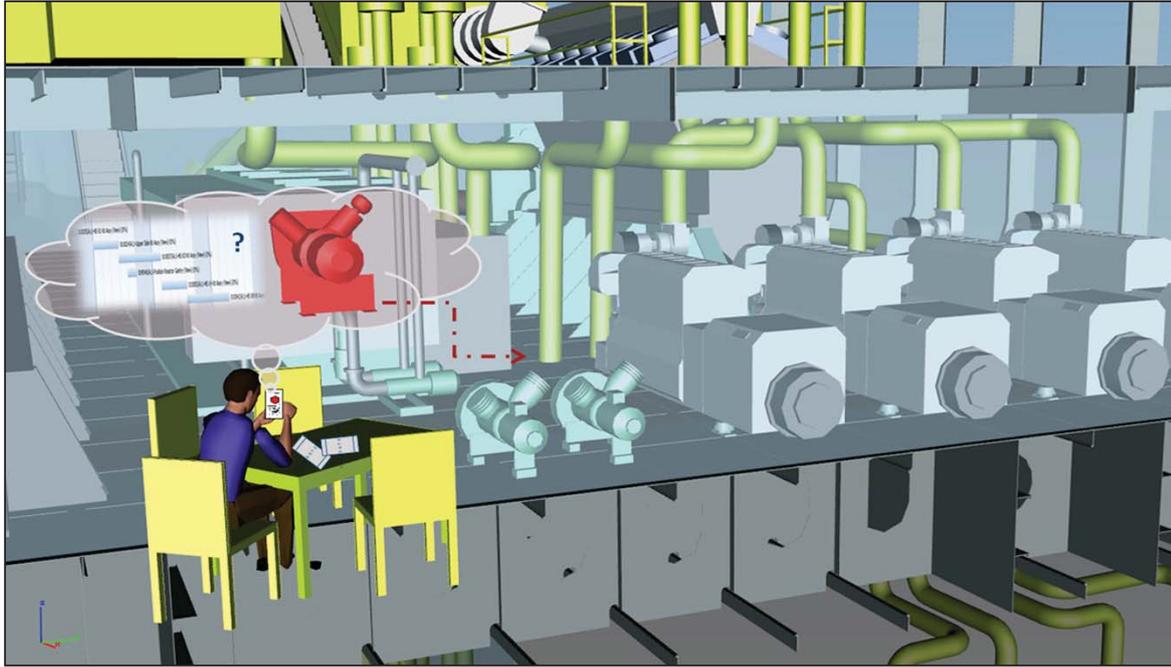


Figure 2: One challenge for manufacturing planners consists in defining the outfitting sequence in a crowded compartment

Outfitting/Dismantling Planning Complexity

In many industries, including shipbuilding and civil engineering, outfitting schedule is a very complex frame to work with: different pieces of equipment may be fitted at the same time, but some sub-systems of different trades require to be fitted in a sequential way. This leads to definition of dependencies – or constraints – in the build plan: piping will be fitted just after the related mechanical equipment, but before the installation of electrical harnesses... Planning reliability can be seen as a priority to respect budget and delivery date, but also to respect security and environmental rules. Commercial shipyards, for example, are defining very early on a high level production plan to set the ship delivery date. This becomes a major target as delay penalties can be very high.

Outfitting schedule will be deeply impacted by numerous modifications, may it be design changes, delays in material delivery or even maintenance activities that need to start before the full construction is completed. Below are described some major sources of complexity:

- Design of some parts may be delivered quite late in the process, even after the construction phase actually started, causing many modifications in the build sequence. For example, this may happen in shipbuilding at the delivery of the first ship of a class, because design department will not have had time to provide all inputs.
- Design might also be modified at any time in order to fit with a set of requirements. Nuclear plant dismantling is a nice example: items will not be removed exactly as they were mounted. They will first be divided into smaller dismantling entities and then sectioned accordingly to make decommissioning possible.
- Nowadays, production planning and tracking is getting more complex. Assembly sequences are continuously reviewed based on material delivery delays, outsourcing decisions, capacity utilization and effective outfitting status in shop-floor. However, number of suppliers tends to increase. In shipbuilding, “it is assessed that 50-70% of the value added comes from external subcontractors and suppliers, whereas for more complex ships this can be as high as 70-80%” [EUShip07]. Challenge consists in ordering equipment at the right time and in efficiently managing delivery delays.
- Last but not least, maintenance and retrofit can most of the time not be neglected when it comes to complex structures. For complex ships such as aircraft carriers, whose construction lasts for years, maintenance activities start before the vessel is fully outfitted. Those activities need to be considered as well to establish a relevant production planning.

Push the right information to shop-floor

Challenge of work instruction preparation is to gather useful and updated information for the shop floor. Keeping work instruction updated is time consuming because changes in design, in manufacturing and in production very often end up by impacting the work in shop-floor. Another difficulty concerns the scope of information that should be shared with the shop-floor. Too much information might be confusing.

Even if manufacturing planners have been defining in advance a feasible assembly sequence, they still need an efficient way and a suitable format to forward the information to foremen and workers on the shop-floor. 2D Drawings

are commonly used in construction and in shipbuilding. However, 2D format makes it difficult to indicate any kind of outfitting sequences, especially because components to be fitted in one compartment are not all represented on the same drawing. Some information now tends to be distributed in 3D or in animated format to complement the 2D drawings.

2.2 Challenges for maintenance over decades

As ships and plants are facing a lifecycle of many decades, numerous refit and maintenance tasks have to be executed. Often, a laser scan or manual remodelling is done in order to get an up-to-date-version of the 3D geometry – a continuous update of the product model avoids these costly tasks and therefore reduces costs (Figure 3). A service revenue can be 2-5 times higher than the initial product sale. Also, for example, a power plant may produce around 750.000€ revenue – per day.

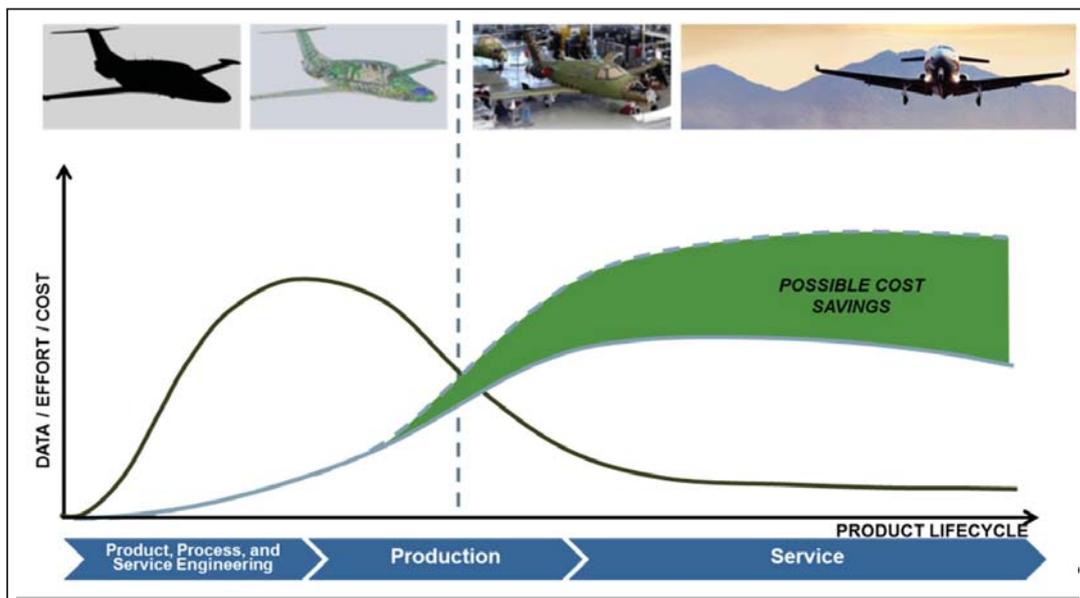


Figure 3: Cost factors from concept to retirement

The Teamcenter MRO module is able to trace the as-built or as-maintained structure as well as tracing single parts, also providing work flows. The delta between the predicted and the actual product is of valuable knowledge for the next product.

An ISO standardized neutral Format like JT [ISO14306] is able to hold the data over a long time. Even if the original Software isn't available anymore the format can be decoded – because the specification is publically available. For example, Daimler and Siemens make use of JT as a Long Term Data Retention Format (LTDR) [Katzenbach10] [Siemens08].

3 Digital Outfitting Review with 4D planning

3.1 Efficiency-driven Outfitting and Dismantling

4D planning is aimed at simplifying production planning creation, update and access in the context of complex outfitting processes. It gives you the possibility to virtually “unroll” the production schedule over a certain period of time. That way, you can visualize targeted outfitting progress in a certain compartment, find out some issues and detect missing dependencies between tasks.

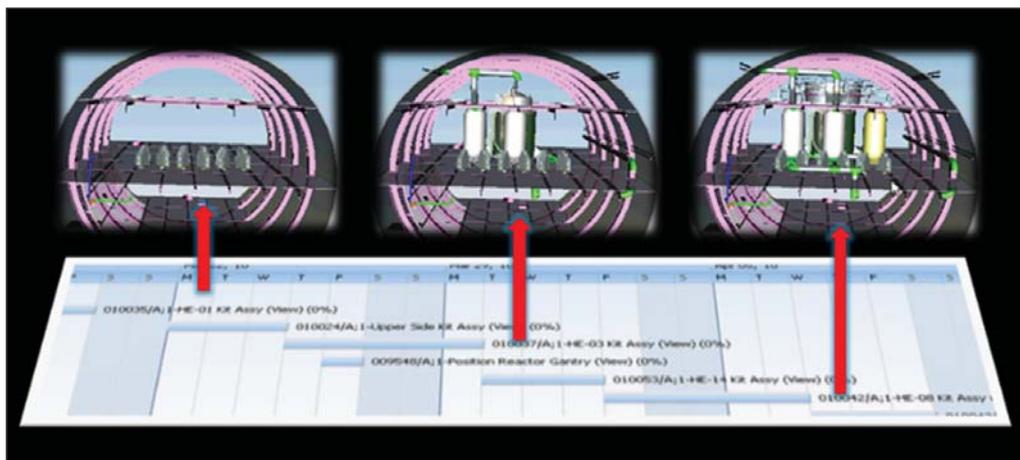


Figure 4: 4D consists in rolling up in 3D the progress of outfitting

You can significantly increase outfitting and dismantling process efficiency by securing assembly sequences. In the example of compartment outfitting in ship-building, one of the most relevant benefits consists in avoiding unfeasible outfitting sequences that would otherwise cause additional disassembly work and slow down the overall process. It contributes to smooth the production and it helps to manage efficiently the upstream logistics chain. It may even include better communication with suppliers.

3.2 4D Planning Concept

4D concept is based on the digitalization of your production schedule: it is gathering both 3D part information and production schedule. Underlying idea is actually to create a relevant manufacturing view of an outfitting entity. Manufacturing planners and workers in shop-floor gain in efficiency if they can solely visualize the parts that are relevant for their activity. In civil engineering, shipbuilding and energy, number of parts can be huge; the relevant manufacturing view displays parts located in a certain geographic area, assembled during a specific assembly process, and surrounded by parts that should already have been installed. 4D creates the conditions to visualize in 3D the progress of the overall outfitting, to select efficiently the next part to be fitted and last but not least, to identify and add missing dependencies – constraints – between tasks.

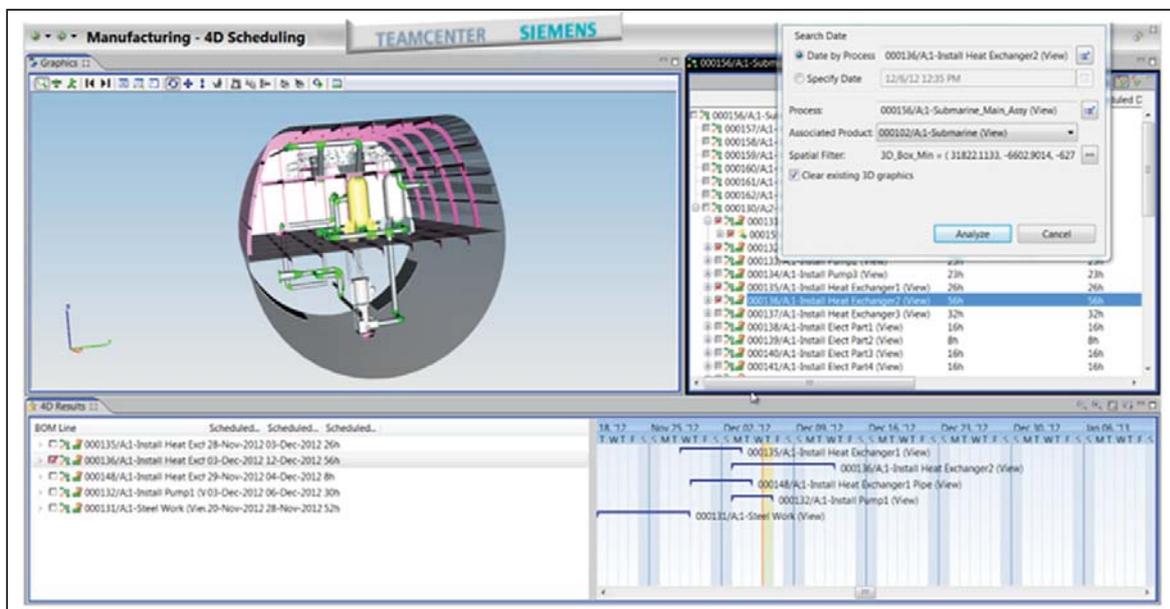


Figure 5: Visualization of outfitting progress in a compartment with 4D Planning

4D planning is linking production activities to 3D lightweight representations of the parts; installation dates come directly from the production schedule and give the possibility to visualize in 3D and step-by-step an outfitting process.

In case of dismantling activities, the process is reversed: components are removed one by one, unlocking a certain amount of space and facilitating the next decommissioning step.

4D planning can only be the first step in assembly sequence creation and validation; it does not have to be the only one. It is also a way for the planner to identify more complex scenarios that will trigger another type of assembly validation. For example, simulations can then be used to find out an assembly path and fit a part without any collisions.

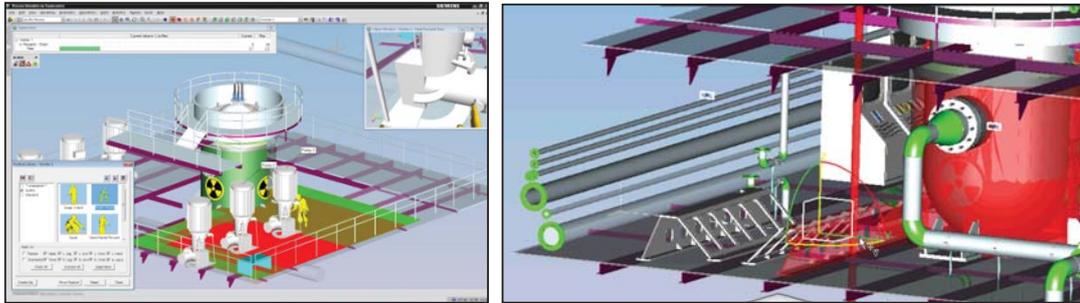


Figure 6: radiation and collision analysis, automatic assembly path creation

Some ergonomics studies and radiation analysis are also commonly used to secure feasibility and workers' safety. In case of nuclear power plant dismantling, overall radiation level is tracked at several stages: indeed, part of the equipment may remain in confined spaces for some time period – including robots that may have been irradiated as well.

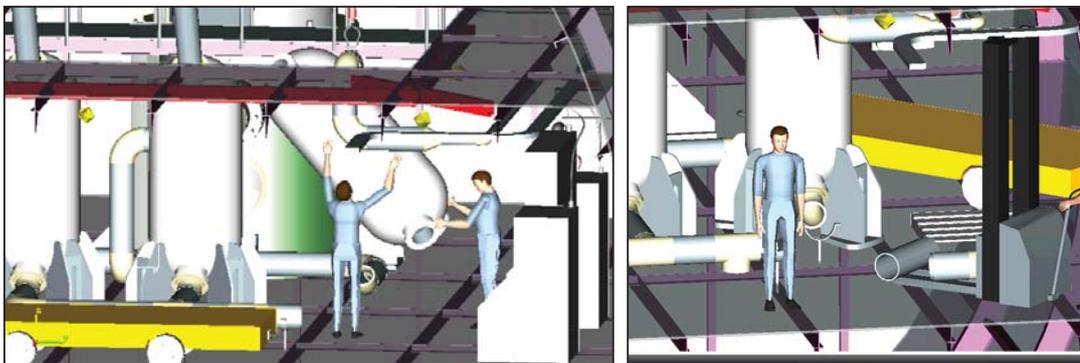


Figure 7: ergonomics studies including cranes and support material

3.4 Strong collaboration platform

4D planning concept fully makes sense on the top of an integrated platform. It guarantees that you are working with the latest updated 3D models, with the latest updated production planning, and with the foreseen capacity in shop-floor. Indeed, according to their scope of activities, suppliers, engineers, foremen and

workers can be notified of changes that may impact their job. In the context of collaboration platform, you can start 4D planning sequence creation with simplified 3D part representations, which can even be derived from a library. 4D analysis and sequence validation can then be refined along with design progress.

Changes in outfitting or dismantling sequences themselves are usually difficult to handle. Indeed, production planning is made of dependencies – constraints – between tasks: a minor change concerning the date of installation of a piece of equipment can have unexpected impacts on parallel or constrained outfitting processes. Integrated platform can provide you with a list of outfitting tasks that will be postponed and that may impact the delivery date.

4D planning provides a collaboration platform between stakeholders, who can agree or disagree on a given build sequence proposal and who can work concurrently on a same production planning: digital mockup can be extended from “compartment design review” to “compartment outfitting review”.

To improve logistics, storage and quality checks, a defined scope of information can even be shared with suppliers / waste treatment centers. For example, some alerts can be raised signifying that one delivery path is at risk. New geo-localized information display technologies can even assist communication between suppliers and integrators. For example, IntoSite, which displays updated equipment information directly on Google Earth, could be used as a platform for delivery logistics, for management of delays or even for information display.



Figure 8: For each piece of equipment, IntoSite is displaying on Google Earth updated information, including 3D representations

4 Electronic Sequence Display in Shop-Floor

4.1 Electronic work instructions

Once a correct sequence has been defined by manufacturing planners, information still needs to be delivered in a way or another to the shop-floor. 3D visualization will not only help planners to create a reliable and feasible assembly schedule, but this will also facilitate the creation of additional outputs for the shop-floor.

Work instructions usually gather the related 2D drawings, the list of parts to assemble/disassemble and the list of tools and resources needed for the task execution. In addition, 3D outputs can display the expected outfitting/dismantling progress, and indicate the assembly sequence by highlighting the parts to be fitted next. Best-practices and complex outfitting/dismantling sequences can be illustrated with 3D animations.

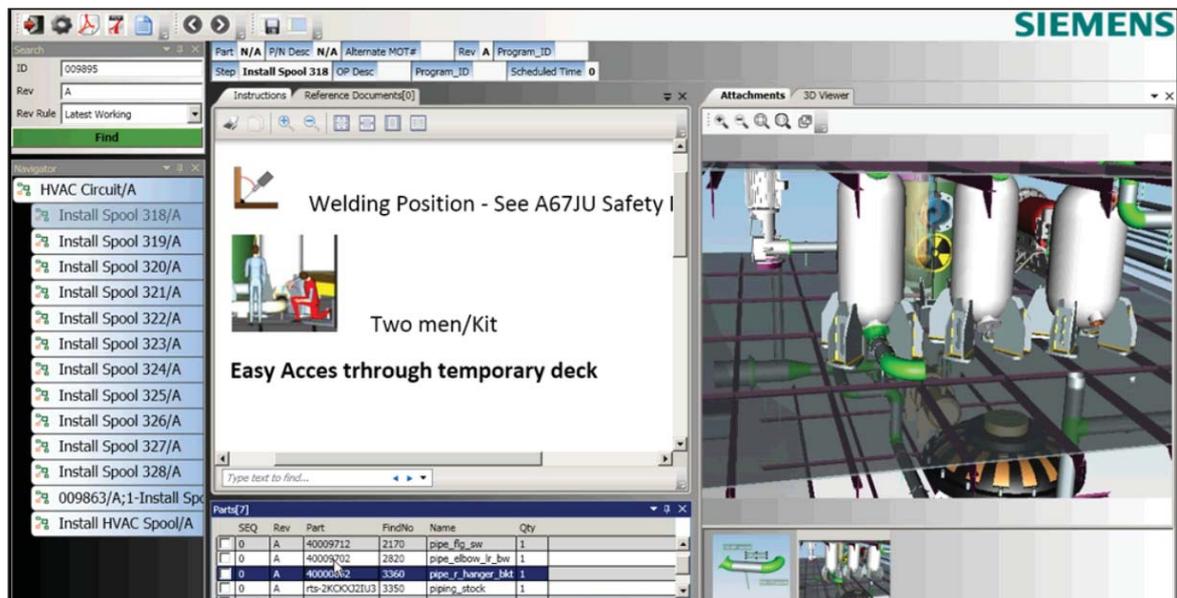


Figure 9: Updated 2D drawings, 3D models and construction information can be displayed in shop-floor via tablets and send to printers

Electronic work instructions allow a worker in shop floor to directly connect to the database via tablets. Because it is directly connected to the database foremen and workers are getting the most updated information. That way, they can analyze the scenery in a 3D environment and print the updated 2D drawings. In complex working environment such as plants, construction sites and vessels,

there might be no network connection available; in that case, work package instructions can be exported in advance and opened in an off-line mode.

4.2 Feedback from shop-floor

Shop-floor workers might want to report some issues to engineers and planners as well as the completion of some activities. They can use electronic work instruction to give their feedback. This can trigger an immediate modification in design or in manufacturing process. But, this kind of information is also useful to gather some experience from the field: this can constitute a strong knowledge database for the next generations of ships, buildings or plants and avoid errors in early design or planning phases.

5 Shop floor as-built recording with an open and lightweight solution

Especially in outfitting, there are a lot of changes due to production tolerances, changed supplier parts or changes from the construction. This leads to a gap between the 3d product model and the real ship or plant.



Figure 10: 3D Model with highlighted as built state. Screenshot from a demonstrator of the former research project Power-VR, subsidised by German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) [Go3D12].

Besides the presently available Teamcenter Mobility Software for iPad, an upcoming research project of Siemens Industry Software and partners focuses on a customized Teamcenter Visualization Interface. It will be developed for the support of production processes such as outfitting – especially considering the recording of the as-built [Go3D12] and the serving of different databases using JT – as it is an open format.

Taking into consideration the problem reporting process, the research project is directed at the reduction of the iteration steps between construction and shop-floor level. The current processes are often paper-based or even verbally transmitted; in many cases, the changes that already have taken place in production are not located on plans or 3d models.

It is to be ensured that there is a systematic return of information to the product model. With the demonstrator being developed, the worker on shop-floor level is able to get relevant information attached to the parts e. g. manufacturing schedules on the one hand, as well as being able to generate problem reports and attach notes to the relevant part – directly in the JT (Figure 11). Another effect is that time-consuming location changes of worker or construction staff, e. g. between office and shop-floor to get a plan or to investigate a problem report, is reduced.

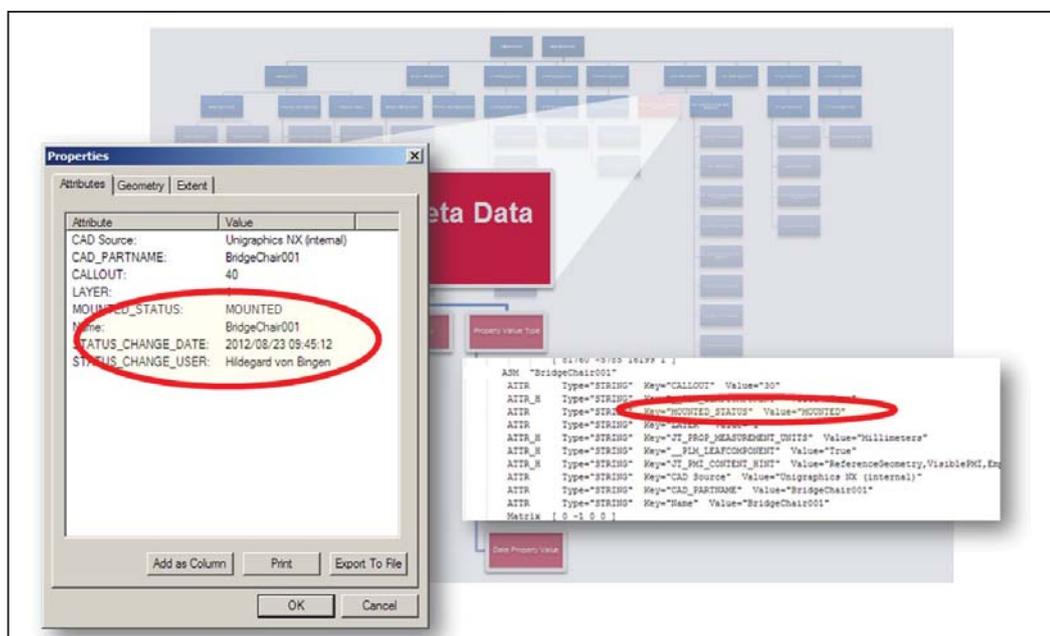


Figure 11: Attaching various meta data such as worker name, status change date or status tag in a JT file [Go3D12]

6 Conclusion and Outlook

Reliable build sequences and focused work instructions are key factors for efficient and competitive production. Concerning build sequence, 3D help to identify and to set needed dependencies that will end up building a reliable build plan. Concerning work instruction, 3D models can easily be used in shop-floor to display work sequences. The completeness of the product model is essential in an even more challenging international environment, to ensure quality and cost effective production.

By recording the as-built, follow-up processes can efficiently be served with updated model data. During maintenance, repair and operation, the benefit of the correct product model enhances the advantage. Many customers face the need for training applications. Current training applications do use 3D product model data. But as there are often deviations in production – e. g. a valve placed differently from the planning – the trained staff would have difficulties in applying the learned contents in reality. Also refit plannings have to take place upon an updated geometry data. Another benefit is that certification processes can make use of the real model, not on the planned model. Remodeling upon 2D plans can be avoided. Another option would be the selling of a reduced data set – a simplified geometry – to the owner as a new business model for shipyards.

With the products of Siemens Industry Software, the holistic view of the “big picture” can be realized. The integration of planning data and as-built information completes the support of the product lifecycle.

Bibliography

- [Go3D12] Roth, M.: „Baustatusprotokollierung in der Einzelfertigung durch Verwendung einer offenen und neutralen Lösung (OLS-Strategie)“. In: Tagungsband Go-3D, Fraunhofer Verlag, Rostock, 2012
- [EUShip07] EU Shipbuilding Industry Investment and Business Guide, World Strategic and Business Information Library, Ibp Usa, USA International Business Publications, 6th edition, Int'l Business Publications, 2007
- [Katzenbach10] http://vpe.mv.uni-kl.de/cms/fileadmin/user_upload/PDF/PLM_Future_2010/20100701_PLM_Future_Katzenbach.pdf
- [Siemens08] http://www.plm.automation.siemens.com/en_in/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=56268&ComponentTemplate=822

Anhang

Uwe von Lukas, Eva-Maria Mahnke, Matthias Vahl (Hrsg.)

Go-3D 2009: Go for Innovations

Tagungsband der Konferenz Go-3D 2009

2009, 128 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen, kartoniert
21 Euro

Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8396-0044-3

Unter dem Motto »Go for Innovations« präsentiert die Go-3D 2009 aktuelle Technologien der 3D-Computergraphik und deren Nutzen in der maritimen Wirtschaft. Wissenschaftler aus dem Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung sowie Praktiker aus Unternehmen demonstrieren zahlreiche Anwendungen, diskutieren Einsatzpotenziale und zeigen aktuelle Trends auf.

Veranstalter der Konferenz ist das Kompetenznetzwerk »Go-3D - Effiziente Prozesskette für 3D-Computergraphik«. Es wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.



Uwe von Lukas, Eva-Maria Mahnke, Matthias Vahl (Hrsg.)

Go-3D 2009

»Go for Innovations«

Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2009

Uwe von Lukas, Eva-Maria Mahnke, Matthias Vahl (Hrsg.)

Go-3D 2010: Go for Innovations

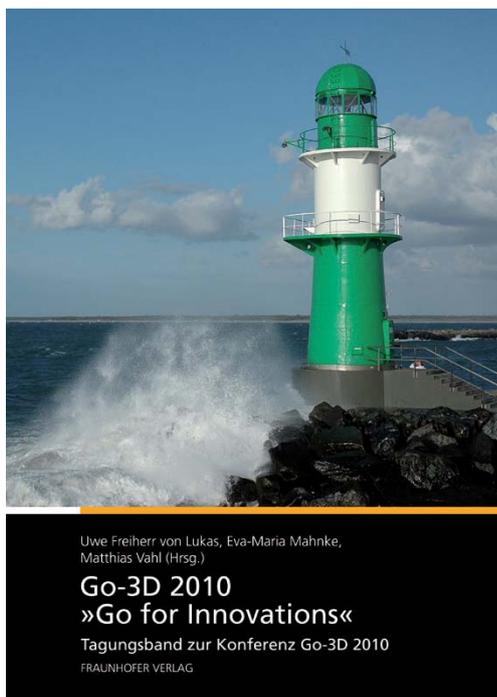
Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2010

2010, 186 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen, kartoniert
36 Euro

Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0164-8

Unter dem Motto »Go for Innovations« präsentiert die Go-3D 2010 aktuelle Technologien der 3D-Computergraphik und deren Nutzen in der maritimen Wirtschaft. Wissenschaftler aus dem Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung sowie Praktiker aus Unternehmen demonstrieren zahlreiche Anwendungen, diskutieren Einsatzpotenziale und zeigen aktuelle Trends auf.

Veranstalter der Konferenz ist das Kompetenznetzwerk »Go-3D - Effiziente Prozesskette für 3D-Computergraphik«. Es wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.



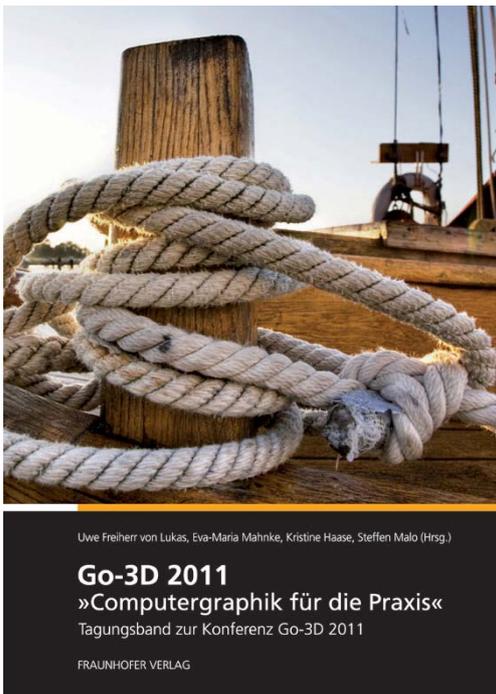
Uwe Freiherr von Lukas, Kristine Haase, Eva-Maria Mahnke,
Steffen Malo (Hrsg.)

Go-3D 2011: Computergraphik für die Praxis Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2011

2011, 182 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen, kartoniert
36 Euro
Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0275-1

Unter dem Motto »Computergraphik für die Praxis« präsentiert die Go-3D 2011 aktuelle Forschungsergebnisse der 3D-Computergraphik sowie deren Einsatzmöglichkeiten in der Praxis der maritimen Wirtschaft und der Automobilindustrie. Fachexperten aus Wissenschaft und Wirtschaft spannen in ihren Beiträgen einen Bogen von CAD und Modellierung über Simulation und Visualisierung bis hin zu virtuellen Trainingsumgebungen und Integration.

Veranstalter der Konferenz ist das Kompetenznetzwerk
»Go-3D - Effiziente Prozesskette für 3D-Computergraphik«.



Uwe Freiherr von Lukas, Kristine Haase, Eva-Maria Mahnke (Hrsg.)

Go-3D 2012: Computergraphik für die Praxis

Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2012

2012, 192 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen, kartoniert
36 Euro

Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0427-4

Die Konferenz Go-3D 2012 präsentiert aktuelle Forschungsergebnisse der 3D-Computergraphik sowie deren praktische Einsatzmöglichkeiten in der Industrie. Fachexperten aus Wissenschaft und Wirtschaft spannen in ihren Beiträgen ein breites Spektrum von der Sensortechnik für die 3D-Geometrierfassung für schiffbauchliche Anwendungen bis zur mobilen 3D-Assistenz für Wartung und Instandhaltung. Highlights sind in diesem Jahr FuE-Ergebnisse in den Themengebieten Ergonomie-Absicherung im virtuellen Raum, Baustatus-Protokollierung in der Einzelfertigung und markerlose optische Objekt- und Posenbestimmung.

Veranstalter der Konferenz ist das Kompetenznetzwerk »Go-3D – Effiziente Prozesskette für 3D-Computergraphik«.



Uwe Freiherr von Lukas, Eva-Maria Mahnke, Kristine Haase (Hrsg.)

Go-3D 2012

»Computergraphik für die Praxis«

Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2012

FRAUNHOFER VERLAG



ISBN 978-3-8396-0594-3

