



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

Go-3D 2017 **»Mit 3D Richtung Maritim 4.0«**

Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2017

FRAUNHOFER VERLAG

Go-3D 2017

»Mit 3D Richtung Maritim 4.0«

Tagungsband

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

Go-3D 2017

»Mit 3D Richtung Maritim 4.0«

Tagungsband zur Konferenz

Go-3D 2017

Rostock, 07. September 2017



Kontaktadresse:

NEMO-Netzwerk Go-3D
c/o Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
Joachim-Jungius-Straße 11
18059 Rostock
Telefon +49 381 4024-100
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 www.dnb.de abrufbar.
ISBN (Print): 978-3-8396-1228-6

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, 2017

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-2500
Telefax 0711 970-2508
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>
Titelbild © Rico K. – 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

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

Prof. Benedict Boesche, *Fachhochschule Kiel*

Dr.-Ing. Markus Färber, *Softvise GmbH*

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

Dr. Volker Gries, *ANOVA Multimedia Studios GmbH*

Prof. Dr. Axel Hahn, *Universität Oldenburg*

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Koch, *Universität Kiel*

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

Ingo Staack, *ThyssenKrupp Marine Systems GmbH*

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

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

Grußwort

Anne Jacobs-Schleithoff
Leiterin des Referates Maritime Wirtschaft
und der Geschäftsstelle des
Maritimen Koordinators der Bundesregierung
beim Bundesminister für Wirtschaft und Energie



Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

war die maritime Branche bei den ersten GO-3D Veranstaltungen eine von vielen Industriebranchen, die Interesse an den Möglichkeiten der digitalen Visualisierung hatte, freut es mich besonders, dass die diesjährige Veranstaltung mit ihrem Motto „Mit 3D Richtung Maritim 4.0“ ganz der maritimen Branche gewidmet ist.

Die Herausforderungen in der Maritimen Branche sind heute vielleicht höher als in manch anderen Branchen. Der maritime Markt ist geprägt von erheblichen Überkapazitäten, verbunden mit einem sehr hohen Wettbewerbsdruck vor allem aus dem asiatischen Raum. Die Sicherung wichtiger hoch qualifizierter Arbeitsplätze innerhalb der maritimen Branche kann nur funktionieren, wenn es gelingt, die Prozesse in den maritimen Wertschöpfungsketten ständig zu verbessern. Es geht um Zeit und Kosten. Es zeigt sich, dass der Trend immer weiter in Richtung durchgehender Digitalisierung mit immer mehr Prozessdaten geht. Diese gilt es geschickt aufzubereiten, wenn daraus eine tatsächliche Produktivitätssteigerung abgeleitet werden soll.

Die Entwicklung zeigt, dass Visualisierungsmöglichkeiten der virtuellen Datenwelt gute Lösungsansätze bieten. Aktuelle Forschungsprojekte, die durch das maritime Forschungsprogramm des Bundeswirtschaftsministerium betreut werden, zeigen die großen Potenziale dieser Technologie auf. Neben Zeit und Kosten, die so in der Wertschöpfungskette eingespart werden können, trägt die Visualisierungstechnologie auch stark dazu bei, die

Fehlerquoten bei Bau, Montage und später bei Wartung und Reparatur erheblich zu reduzieren. Das ist insbesondere im Spezialschiffbau, wie wir ihn in Deutschland haben, ein wichtiges Wettbewerbskriterium. Und das ist sicher auch ein Grund, warum gerade die Entwicklung der Visualisierungstechnologien im Schiffbau auf einen besonderen Nährboden fallen. Vielleicht größer noch als in der Luftfahrt- oder der Automobilindustrie.

Forschung und Entwicklung sind dabei für die maritime Branche ein wichtiger Eckpfeiler der Zukunftssicherung. Deshalb werden auch im neuen maritimen Forschungsprogramm, das 2018 das alte ablösen wird, SMARTe Technologien zur 3D Visualisierung mit virtual reality und augmented reality eine wichtige Rolle spielen.

Ich wünsche Ihnen inspirierende Vorträge, anregende Gespräche, viele neue Anregungen und der GO 3D 2017 gutes Gelingen und viel Erfolg.



Ihre Anne Jacobs-Schleithoff

Inhaltsverzeichnis

Keynotes

SeaVision™	3
<i>Patrick Merz, Paranhos, Jakob Schwendner</i>	
3D-basierte Engineering-Kollaboration	9
<i>Alfred Katzenbach</i>	
Rixels: towards Secure Interactive 3D Graphics in Engineering Clouds	25
<i>Christian Altenhofen, Andreas Dietrich, André Stork, Dieter Fellner</i>	

Das digitale Schiff

Realising Immersive Digital Ships.....	47
<i>David Thomson</i>	
2D, 3D and Virtual Reality: Creating the Natural Way to Work	61
<i>Mark Waldie, Denis Morais, Nick Danese</i>	
Modellbasierte PLM-Architektur für den Schiffbau – Beispiele aus Forschung und Anwendung	71
<i>Matthias Roth</i>	

Assistenz und Kooperation

**Blue CollAR: Kollaboratives Arbeiten mit
Augmented Reality in der maritimen Montage87**

Axel Friedewald, Nikolaj Meluzov, Robert Rost

**Verwendung von 3D-Daten auf mobilen Assistenzsystemen
im Bereich Betrieb und Wartung von
Offshore-Windenergieanlagen101**

Martin Eggert, Konrad Jagusch, Jan Sender

Änderungen Kommunizieren 111

Lukas Niepert, Carsten Zerbst

Visualisierungstechnologien

**Visualisierung einer komplexen Offshore-Konverterplattform
in interaktiven Frameraten123**

Sven Kluge, Stefan Gladisch

**3D-Visualisierung von Über- und Unterwasserfahrzeugen
zur Evaluation von Steuerungsalgorithmen
mithilfe einer Game-Engine135**

*Tobias Theuerkauff, Tobias Werner, Frank Wallhoff,
Thomas Brinkhoff*

**Virtuelle Röntgenbilder aus sehr großen
CAD-Modellen und Laserscans147**

*Thomas Preidel, Markus Färber, Steffen Cersowsky,
Ronny Krüger, Michael Reeßing, Jens Weggemann*

Innovative Hafenanwendungen

Nutzung von Stereo-Hochkontrast-Aufnahmen für eine bodengestützte, automatische Bestimmung von Schüttgutmaterialien und für die Erkennung der Belegung von Außenlagerflächen in Häfen.....157

Tom Krause, Tim Dolereit, Matthias Vahl

Echtzeitströmungsmodell für den Hamburger Hafen167

Simone McCurdy, Oliver Stoschek, Thomas Strotmann, Nino Ohle

3D-Erfassung

Laserscanner Surphaser – Effiziente und präzise Digitalisierung für Qualitätskontrolle und Reverse Engineering177

Ralf Lichtenberger, Peter Wintjens

Hochauflösende 3D-Sonarbildgebung187

Michael Ehrhardt, Christian Degel, Franz Josef Becker, Leonora Peter, Holger Hewener, Heinrich Fonfara, Marc Fournelle, Steffen Tretbar

Keynotes

SeaVision™

Patrick Merz Paranhos, Jakob Schwendner

Kraken Robotik GmbH
Fahrenheitstrasse 13
28359 Bremen, Germany
pparanhos@krakenrobotik.de
jschwendner@krakenrobotik.de

Abstract: SeaVision™ is an RGB underwater laser imaging system that offers the resolution, range and scan rate to deliver dense full colour 3D point cloud images of subsea infrastructure. The initial system is designed for deployment on underwater robotic platforms such as remotely operated vehicles (ROVs) and autonomous underwater vehicles (AUVs). SeaVision™ can also be used in profiling mode, where the lasers automatically maintain optimal scan angles and acquire colour 3D data as the ROV or AUV platform moves along the target.

1 SeaVision™ Overview

SeaVision™ is the world's first RGB underwater laser imaging system that offers the resolution, range and scan rate to deliver dense full colour 3D point cloud images of subsea infrastructure with millimetre accuracy in real time. The initial system is designed for deployment on underwater robotic platforms such as Remotely Operated Vehicles (ROVs) and Autonomous Underwater Vehicles (AUVs). A hand-held diver system is planned for release later this year.

In recent years, 3D imaging sensors have increased in popularity in fields such as human-machine interaction, augmented reality, cartography and movies. These

sensors provide raw 3D data that's processed by imaging software to obtain 3D volumetric information. This workflow is known as 3D reconstruction and is a tool that to date has been primarily used in terrestrial and aerospace applications.

However, the ability to generate accurate 3D reconstruction of underwater infrastructure is an important requirement for commercial, military and ocean research applications. While sonar is the technology of choice for covering large areas, 3D laser systems such as Kraken's SeaVision™ provide significantly higher resolution and accuracy at inspection ranges of under 10 metres.

SeaVision™ uses a full colour laser scanning process that's repeated thousands of times per second to generate coordinate values of millions of points on a reflected surface. The coordinates and intensity associated with each reflected laser pulse are processed in real time to generate a high-resolution point cloud. SeaVision produces over 300,000 colored points per second and can reconstruct a 3D object in real-time with typical spatial accuracy of less than 2 millimetres in 4 seconds. These datasets can be used to create highly detailed models for 3D visualization, asset management, artificial intelligence and predictive analytics.

Unlike other underwater laser scanning systems, SeaVision™ does not have any externally moving parts. It is integrated in a compact twin pod configuration with flexible mounting options and localized auto-calibration. This enables the system to be mounted at-sea without the need for a specialist or technical support. Figure 1 shows the SeaVision™ twin pod.



Figure 1: SeaVision™ compact twin pod

Using Structure from Motion photogrammetric range imaging and correlation techniques, SeaVision's highly sensitive colour cameras are used for motion compensation and micronavigation. Advanced signal processing algorithms correct vehicle motion during laser scanning without the need for an expensive inertial navigation system. The laser scans are coregistered to the camera images to provide both optical data and 3D point clouds for quantitative measurements.

SeaVision™ can also be used in profiling mode, where the lasers automatically maintain optimal scan angles and acquire colour 3D data as the ROV or AUV platform moves along the target.

Another unique feature is the application of six laser lines in Red, Green and Blue (RGB) colours to reproduce full colour information. All data is processed on-board in real-time and can be directly streamed and viewed topside or stored on the system's multi-terabyte solid state drive.

2 SeaVision™ Technical Specification

The underlying technology in SeaVision™ is the combination of two different 3D reconstructions techniques: i) structure from motion and ii) structure light. Structure from motion (SFM) is a photogrammetry range imaging technique that estimates 3D structure from 2D image sequences. Structure light is the process of projecting a known pattern and calculate the surface depth by observing this known pattern deformation. In SeaVision™ this pattern is 6 lines created by the lasers.

Each of these 2 principles has a different set of strengths and weaknesses, therefore the combination of both to acquire a better 3D reconstruction. SFM does not require any external measurement for a 3D reconstruction, yet it has less accuracy in the depth information than structure light and is more subjected to environment turbidity. Figure 2 shows the same scene reconstructed by each of the two principles in separate and in combination.

Each SeaVision™ pod is composed of a red, green, blue laser on a steerable unit, with a colour camera and led light. Internally, each pod has embedded electronics for on-board processing, embedded micro inertial measurement unit to assist the visual base motion estimate algorithms and solid state hard drive for on-board data storage. SeaVision™ requires a twin pod configuration to operate. Table 1 provides a preliminary system technical specification that is subjected to changes. Figure 3 shows a SeaVision™ single pod in more details with the position of the led, lasers and camera.

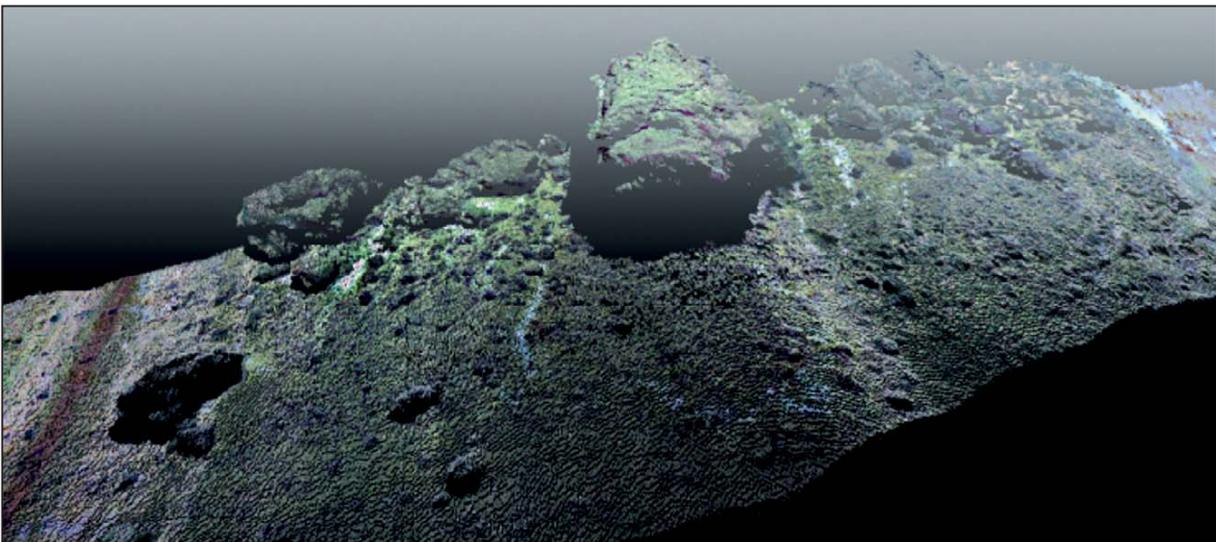
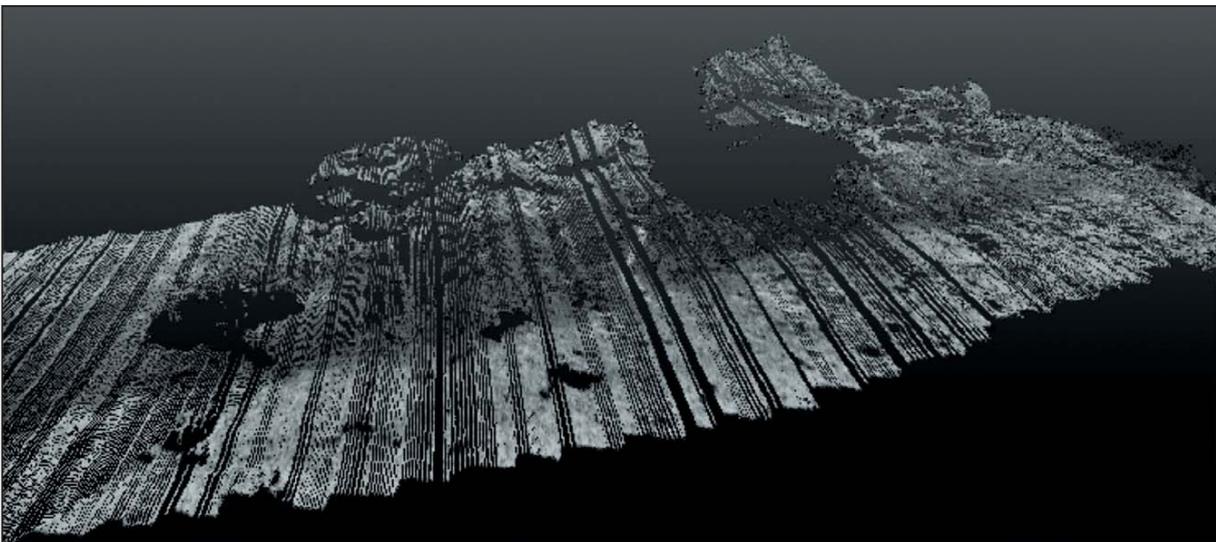
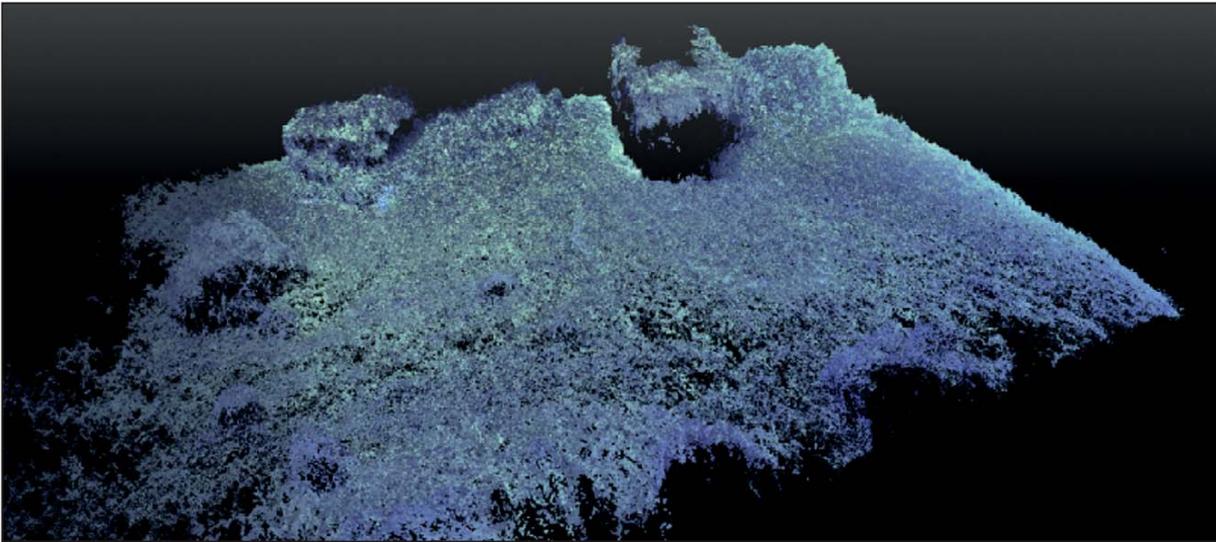


Figure 2: From top to bottom: a) scene reconstructed by SFM; b) scene reconstructed by structure light + external motion estimate; c) SFM + structure light. (Image: DFKI)

Table 1: SeaVision™ technical specification

Parameter	Value
Colour camera	Quad VGA (1280 x 960)
Field of view	80° x 50°
Steerable line lasers	Class 3R - red / green / blue
Integrated light	1300 lm LED
3D scan rate	0.1 - 1 Hz
3D scan performance	300k points / sec
Scan resolution	0.1 - 10 mm
Working Range	0.5 - 8 m
Output info per point	x,y,z / RGB / Quality est.
Mounting Baseline	20 - 60 cm
Operational modes	Scanning / Profiling
Processing	On-board real time
Real time output	3D scan / Live video
On-board storage	2 TB SSD
Dimensions	460 x 113 mm
Single tube weight	7.0 kg (air) / 2.0 kg (water)
Depth rating	1.000 m
Max sea temperature	40 °C
Min start up temperature	-5 °C
Power supply	24 VDC
Power draw per tube	20 W

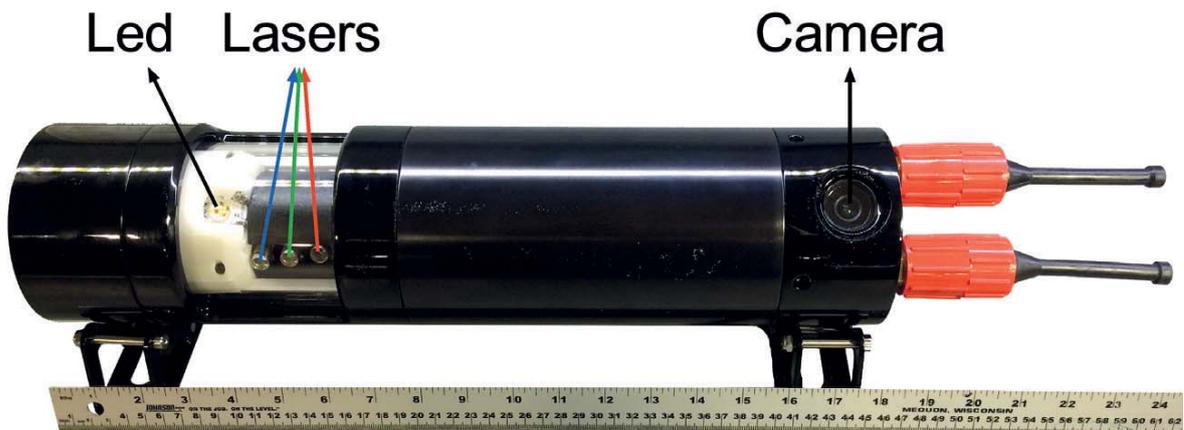


Figure 3: SeaVision™ pod

3D-basierte Engineering-Kollaboration

Alfred Katzenbach

Katzenbach Executive Consulting

Himmernstraße 18

78343 Gaienhofen, Deutschland

alfred@katzenbach-web.de

Abstract: Die Automobilindustrie ist eine Branche, die seit vielen Jahren unter einem sehr starken internationalen Wettbewerbsdruck steht und deshalb auch über die Zeit einige Krisen zu bewältigen hatte. Um in diesem Markt bestehen zu können, hat sich die Industrie immer wieder verändert und weiterentwickelt. Diese Veränderungen haben sich nicht nur innerhalb der Unternehmen ausgewirkt, sondern besonders in dem Zusammenspiel mit den Partnern auf der Zuliefererseite, aber auch zwischen den Herstellern selbst. Gleichzeitig hat sich der Einsatz von 3D-CAD immer weiter verändert und heute eine Reife erreicht, so dass man guten Gewissens von einer Teilautomatisierung des Konstruktionsprozesses sprechen kann. Die CAD- und PDM-Anwendungen mussten sich immer wieder an die Weiterentwicklung der Kollaborationsprozesse adaptieren. Auch heute ist dieser Prozess noch nicht abgeschlossen, sondern wird sich in den nächsten Jahren, mit wiederum sich veränderten Prozessen, fortsetzen.

1 Entwicklung von Partnerschaftsbeziehungen und IT-Lösungen über die Zeit

Die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts waren geprägt von einer weitestgehend nationalen Ausrichtung der Partnerschaftsbeziehungen. Die Automobilindustrie hatte eine recht hohe interne Wertschöpfungstiefe und verfolgte das Konzept einer zentralen Steuerung der Lieferanten. Die CAD-Anwendung war im

Wesentlichen auf 2D-Anwendungen innerhalb des Unternehmens konzentriert. Lediglich im Bereich der Freiformflächenbeschreibung der Karosserie-Außenhaut hat die deutsche Automobilindustrie unter der Schirmherrschaft des VDA ein Austauschformat erarbeitet und als VDA-FS veröffentlicht. Diese Zusammenarbeit im VDA hat in Deutschland den Grundstein für die Entwicklung einer Gremienlandschaft für die IT-basierte Kollaboration gelegt, die sich ständig weiterentwickelt hat und heute noch höchst erfolgreich und effizient arbeitet.

In den 90er Jahren hat sich die Kollaborationsstruktur grundlegend geändert. Die Wertschöpfungstiefe bei den Automobilunternehmen ist deutlich gesunken. Immer größere Umfänge wurden komplett an die wesentlichen Lieferanten vergeben, die sich ihrerseits Unterlieferanten bedienten. So haben sich Lieferantenkette mit teilweise mehr als fünf Tierstufen entwickelt.

Gleichzeitig hat die 3D-basierte Produktentwicklung weiter zugenommen und der Prozess eines „Digital Mock Up“ wurde gemeinsam in dem großen europäischen Forschungsprojekt AIT (Advanced Information Technology for Product Development) definiert und eingeführt.

Auf der Seite der IT-Systemanbieter fand ein Konsolidierungsprozess statt, an dessen Ende heute nur noch wenige marktbestimmende Anbieter übrig geblieben sind.

Um die Effizienz in der Produktentwicklung zu erhöhen, haben sich die Automobilunternehmen in der Regel auf ein durchgängig genutztes 3D-CAD-System festgelegt. Die Lieferanten wurden vertraglich verpflichtet, die Daten in dem jeweiligen System zu erzeugen oder zumindest in diesem System, gemäß der vereinbarten Methoden, bereitzustellen.

Die Schnittstellen zwischen den Systemen waren nur sehr begrenzt leistungsfähig. Da der Bedarf an Standardaustauschformaten erkannt wurde, hat sich eine internationale Initiative entwickelt, an deren Ende die ISO 10303 (STEP) entstand. Um hier eine deutlich breitere Anwenderschaft zu adressieren, wurden in ISO 10303 sogenannte Application-Protokolle und Conformance-Classes für jeweilige Industrien eingeführt (Beispiel: AP 214 für den Automobilbereich (mit CC3 für 3D-Geometrie und CC6 für Struktur) oder AP 215, AP 216 und AP 218 für den Schiffbau). ISO 10303 adressierte nicht nur die 3D-Daten, sondern unter

anderem auch Strukturdaten, die es erlaubten, ganze Zusammenbauten auszutauschen und PDM-Systeme miteinander zu vernetzen. Im Gegensatz zu diesen Strukturbeschreibungen hat sich die 3D-Geometrie-Beschreibung von STEP in der Automobilindustrie aber bis zum heutigen Tag nicht durchsetzen können.

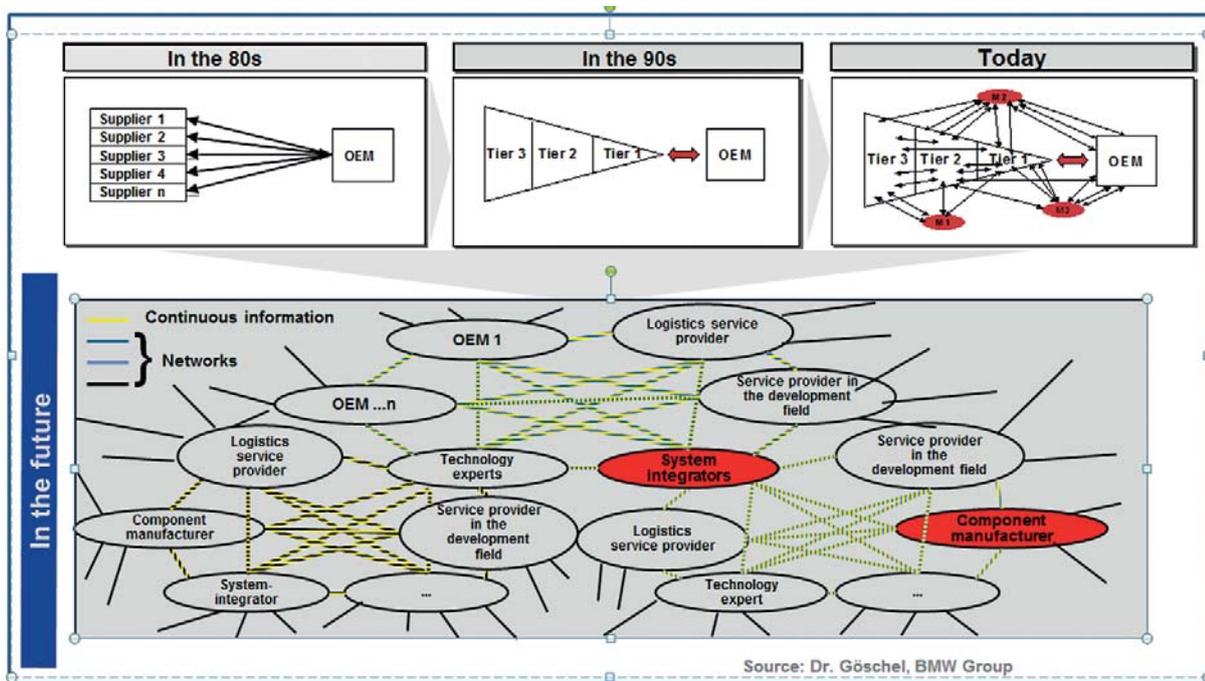


Abbildung 1: Veränderung der Partnerstruktur in der Automobilindustrie [GÖ06]

Das erste Jahrzehnt dieses Jahrhunderts war geprägt von einer Erweiterung der Kollaborationsbeziehungen. Den Lieferanten wurde in stärkerem Umfang auch die Herstellung ganzer Baugruppen übertragen. Teilweise war es dazu nötig, dass der OEM (Automobilhersteller) zum Zulieferer seiner Lieferanten wurde und sich somit ein Kollaborationsnetzwerk mit projektspezifisch unterschiedlichen Rollendefinitionen ergeben hat.

Die Automobilhersteller selbst haben versucht, durch Unternehmenszusammenschlüsse ihre Wettbewerbssituation zu verbessern. Der Integrationsansatz aufgrund der Erfahrung der Vergangenheit konzentrierte sich auf einheitliche IT-Lösungen, was sich als nahezu unüberwindbare Hürde darstellte.

Leider sind nicht alle dieser Zusammenschlüsse erfolgreich verlaufen und wir können heute auf eine Vielzahl von späteren Trennungen zurückblicken. Der Bedarf nach Effizienzzuwachs durch eine verstärkte Zusammenarbeit war und ist damit aber immer noch vorhanden und wird weiter steigen.

Die 3D-Anwendung hat sich in dieser Zeit in Richtung parametrisch assoziative Zusammenbaumodellierung entwickelt. Die Welt der Standards im 3D-Umfeld hat sich in dieser Phase nur gering weiterentwickelt. Die Konzentration lag vielmehr auf der Erweiterung der Kollaborationsumfänge, wie zum Beispiel Projekt-Management, Anforderungsmanagement, Bordnetz-Daten oder Engineering Change Management. Diese Vereinbarungen wurden in der Regel als VDA-Empfehlungen oder als Empfehlungen des prostep ivip Vereins veröffentlicht¹.

Im Austausch zur vereinfachten und performanten Nutzung von 3D-Daten hat sich ein Format das aus einer industriellen Initiative ohne Standardisierungsanspruch entstand, immer mehr verbreitet: das JT-Format. Dieses Format entstand nahezu zeitgleich mit STEP (Mitte der 90er Jahre) in einem kleinen Unternehmen in den USA (EAI) gemeinsam mit HP mit der Vision, 5000 Teile gleichzeitig und performant an einem Computer anzeigen zu können. Zur damaligen Zeit eine echte Vision. Deswegen bekam es den Namen „Jupiter Tesselation“, weil Jupiter der größte Planet in unserem Sonnensystem ist. Das System JT besteht aus vier Komponenten:

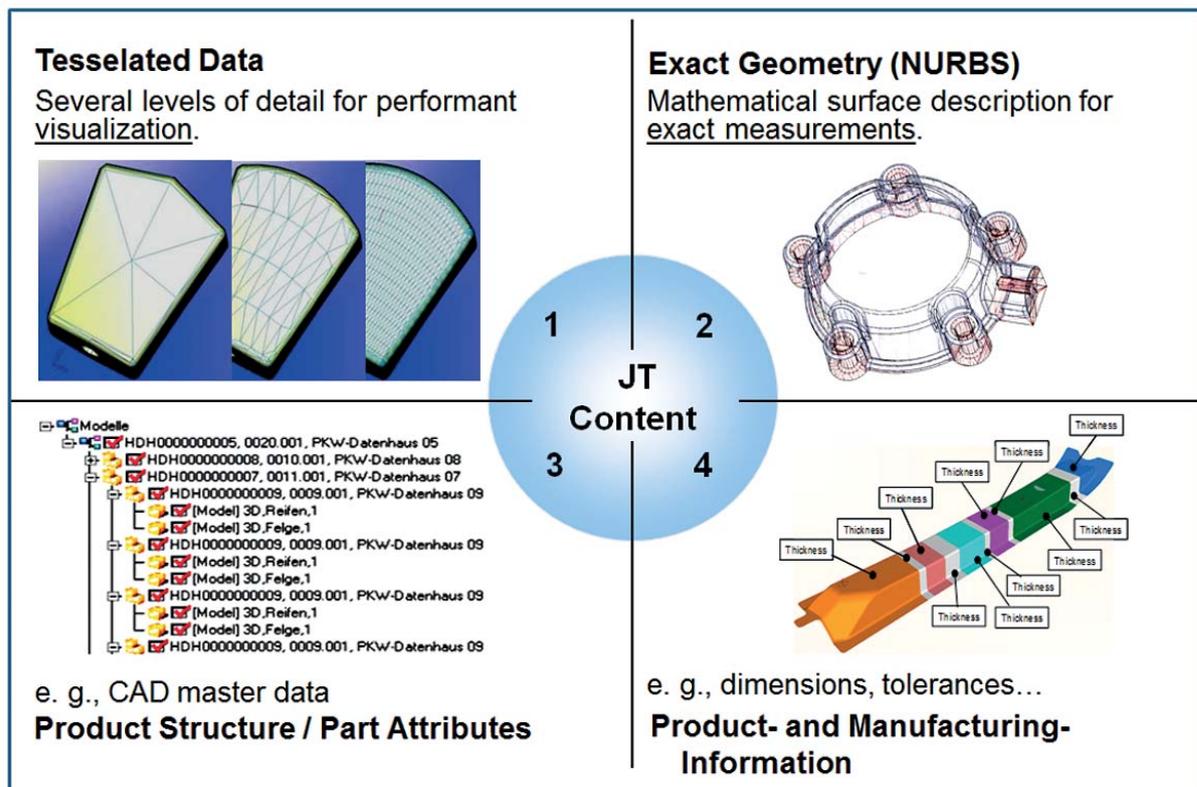


Abbildung 2: Komponenten des JT Formats [HA11]

¹ <http://www.prostep.org/mediathek/veroeffentlichungen>

Im heutigen Jahrzehnt ergeben sich in den Kollaborationskonzepten der Automobilindustrie zwei Tendenzen. Aus den negativen Erfahrungen mit Unternehmenszusammenschlüssen verfolgt man heute mehr die projektspezifische Kooperation zwischen den OEMs bzw. die Gründung von Joint Ventures. Gleichzeitig fordern die „emerging markets“, wie zum Beispiel China oder Indien, einen steigenden Wertschöpfungsanteil in diesen Märkten, nicht nur in der Produktion, sondern auch in der Produktentwicklung. Vor Ort werden teilweise für diese Märkte spezielle, abgeleitete Fahrzeuge entwickelt und gefertigt, die den dortigen Bedarf besser befriedigen. Nicht nur die OEMs gehen den Weg in diese Märkte, sondern auch die Zulieferer. In der Kollaboration ergibt sich nun die Herausforderung, auf der einen Seite nahtlos zusammenzuarbeiten, aber auf der anderen Seite auch das intellektuelle Kapital zu schützen.

Die inzwischen entstandene vielfältige internationale Vernetzung der Automobilunternehmen mit ihren Zulieferern lassen das ursprüngliche Konzept einer Ein-Systemstrategie in den Projekten und Partnerschaftsbeziehungen nicht mehr aufrechterhalten.

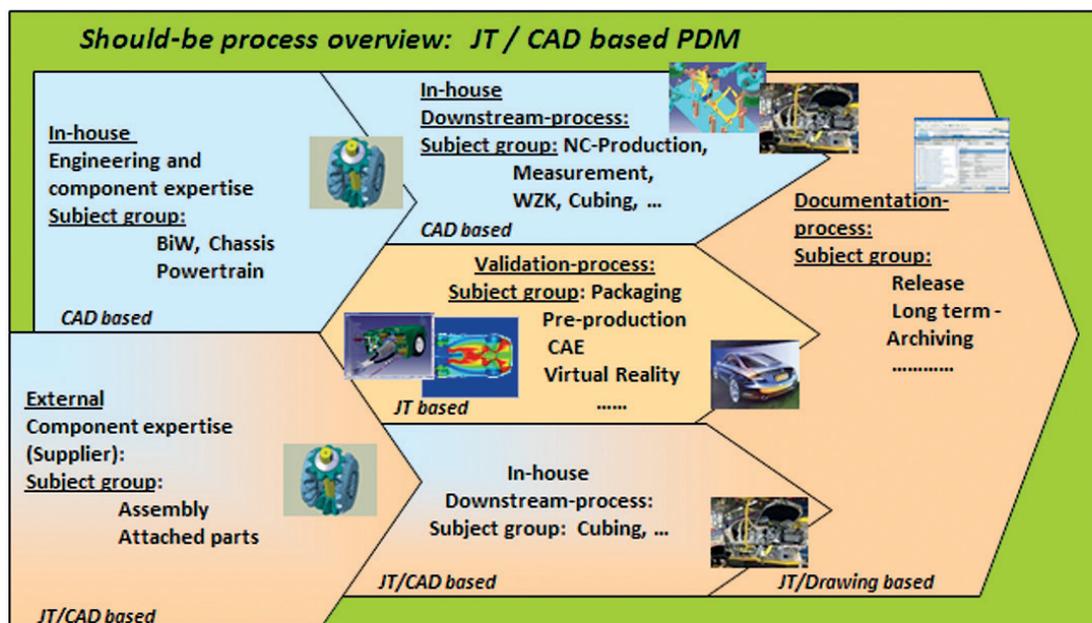
Die Standards zur Sicherstellung der Engineering Kollaboration haben sich in dieser Phase stetig weiterentwickelt. So wurde mit dem AP 242 von ISO 10303 eine Konsolidierung verschiedener Application-Packages vorgenommen, die Inhalte in Richtung Systems-Engineering erweitert und eine xml-basierte Beschreibung (Business-Object-Model) eingeführt.

Auf der CAD-Seite hat das Format JT immer mehr an Bedeutung gewonnen. Die Leistungsfähigkeit wurde über die Jahre immer weiter aufgrund konsolidierter Kundenanforderungen ausgebaut. Das Format war in der Zwischenzeit über mehrere Firmenübernahmen und Verkäufe in den Besitz von Siemens übergegangen. Nicht zuletzt auf Betreiben der Automobilindustrie war Siemens bereit, die Spezifikation des Formats offenzulegen und die Rechte zum Zweck der Standardisierung abzutreten.

2 Die Wertschöpfungsverteilung heute

Inzwischen werden über 80 % der Wertschöpfung in der Automobilindustrie bei Partnern erbracht. Die Bandbreite geht dabei von konzeptionellen Vorentwicklungsarbeiten, über die Entwicklung und Bereitstellung von Komponenten und Systemen bis hin zur eigenverantwortlichen Entwicklung von Fahrzeugderivaten und kompletter Lohnfertigung. Für einzelne Fahrzeugkomponenten haben sich international Kompetenzzentren gebildet, aus denen die weltweite Automobilindustrie beliefert wird. In diesem Netzwerk ist es nahezu unmöglich bzw. mit hohen Zusatzkosten verbunden, wenn ein Automobilhersteller von seinen Partnern verlangen würde, dass alle Entwicklungsleistungen in seiner spezifischen Systemwelt zu erbringen sind.

In einer Studie des prostep ivip Vereins [PSI10] wurde untersucht, welche Umfänge der Teile und Systeme sinnvollerweise auf das native Format des OEMs verzichtet werden kann. Die prinzipielle Aussage lautet: die Nutzung des nativen Formats ist nur dann erforderlich, wenn die Daten in weiteren internen Wertschöpfungsprozessen verarbeitet und erweitert werden müssen. Für reine Integrationsarbeiten, Datenvisualisierungen und Absicherungsumfänge ist die Bereitstellung in einem Standardformat völlig ausreichend.



(Source: ProSTEP IVP Whitepaper)

Abbildung 3: Nutzungspotenziale von JT am Beispiel Automobilindustrie [PSI10]

Eine grobe Abschätzung hat ergeben, dass in 75 % der geometrieorientierten Entwicklungstätigkeiten ohne natives CAD-Format durchgeführt werden können. Daraus leitet sich verständlicherweise auch die Forderung an die Systemhersteller ab, neutrale Formate im Sinne eines „Design in Context“ auch in ihren jeweiligen Systemen direkt nutzen zu können. Dieser Forderung kommen die großen Systemanbietern leider nur mit stark unterschiedlichem Engagement nach [PSI17].

Abbildung 4 zeigt am Beispiel eines Verbrennungsmotors, welche Umfänge auf Basis JT abgewickelt werden können und welche Vorteile zu erwarten sind.

- 1.) Supplier is **independent of used CAD system** or (in case) **NX version** at Daimler
- 2.) JT-data helps to **reduce data prep. efforts** on supplier side in comp. with native CAD-data
- 3.) JT-data is able to fulfill **Daimler RD and downstream processes needs** (def. parts)
- 4.) JT-data enables a **wider range of possible suppliers** worldwide
- 5.) JT-data is **ISO Standard – ISO 14306** and will be accompanied with STEP AP 242XML



Figure 1: Analysis of OM651 engine
Yellow parts = Externally created parts (JT candidates)

Abbildung 4: Nutzungspotenziale von JT am Beispiel Automobilindustrie [HA13]

3 Die Standardformate und ihre Entwicklung

Aus dem Bedarf einer konsolidierten und anwendungsgetriebenen Standardisierung wurde 1993 der ProSTEP Verein als Non-Profit-Organisation, sowie die ProSTEP GmbH (heute AG) als Profitorganisation gegründet. Zehn Jahre später wurden die Ergebnisse des BMBF-Leitprojekts IVIP (Integrierte Virtuelle Produktentwicklung) mit in das Vereinsportfolio aufgenommen und damit die Ausrichtung vom reinen CAD und PDM auf allgemeines Engineering Collaboration

ausgeweitet. Aus dem ursprünglich deutschen Verein wurde inzwischen ein internationaler Verein mit Mitgliedsunternehmen aus Europa, Asien und Amerika.

Das Konzept der Themenbearbeitung des Vereins orientiert sich an dem V-Modell für die Produktentwicklung und soll hier am Beispiel der Standardisierung von JT dargestellt werden.

Die Vereinsarbeit besteht dabei im Wesentlichen aus drei Komponenten:

- Das JT-Workflowforum ist ein Kreis von Anwendervertretern in dem die Anwendungsmöglichkeiten des Formats beschrieben werden, Empfehlungen für die Nutzung abgeleitet, aber auch Anforderungen an die Erweiterung des Formats gestellt werden. Im Fall JT wurde die ProSTEP iViP Empfehlung PSI 14.1 veröffentlicht, in der dreißig Anwendungsfälle für die Nutzung des Formats beschrieben sind. Die Anforderungen an die Erweiterung des Formats wurden in der Arbeitsgruppe „Content Harmonization“ konsolidiert und veröffentlicht.
- Im JT Implementor Forum diskutieren die Systemhersteller und -integratoren, wie das Format in den jeweiligen Systemen integriert wird. Aus der gemeinsamen Interpretation der Standard-Spezifikation werden Implementierungsrichtlinien abgeleitet und ebenfalls als Basis für die Weiterentwicklung des Formats bereitgestellt.
- In den JT Application Benchmarks werden aufgrund von realen Daten und Geschäftsprozessen die bereitgestellten Lösungen mit einander verglichen und die Leistungsfähigkeit bewertet [PSI17]

Das JT Format wurde im Dezember 2012 als ISO 14306 veröffentlicht. Dabei war die Intention, eine 80 % Lösung relativ schnell bereitzustellen, um dann den erkannten Erweiterungsbedarf zu adressieren. Da diese internationalen Abstimmungsprozesse sehr zeitintensiv sind, hat die Automobilindustrie den Verein gebeten auf Basis der ISO Regularien in dem Projekt „Driving JT“ eine Spezifikation zu erstellen, die den erweiterten Bedarf beschreibt, den Systemherstellern

und -integratoren ermöglicht, diese Anforderungen umzusetzen und gleichzeitig als Draft für eine neue Version der ISO Norm genutzt werden kann.

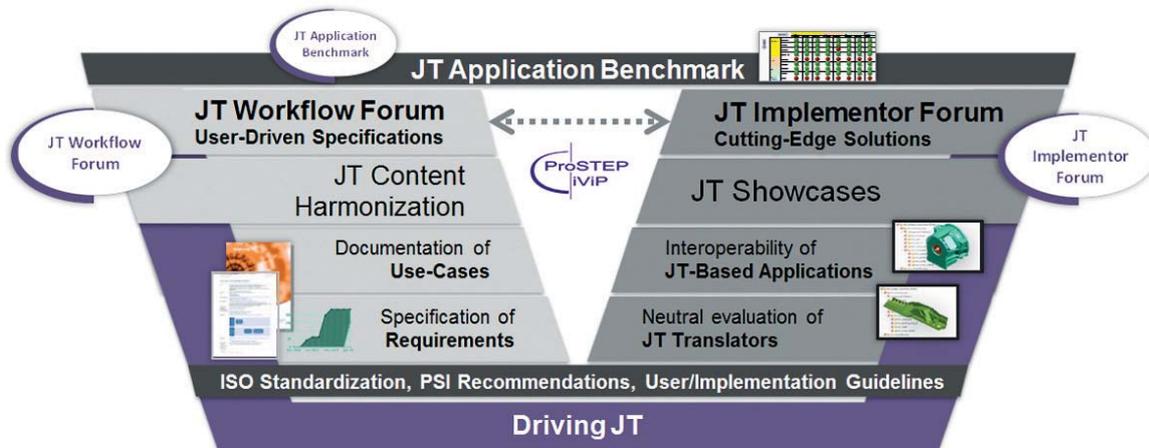


Abbildung 5: Übersicht zur JT Standardisierung im prostep ivip Verein [PSI15]

Diese Spezifikation ist inzwischen als ProSTEP iViP Empfehlung 14-1 V2 mit dem Namen JT Industrial Application Package V2 (JTIAP V2) veröffentlicht. [PSI16]

Dieses JT Industrial Application Package ist ein modulares Konzept, mit dem die einzelnen Unternehmen mit ihren Partnern bilateral oder gemeinschaftlich vereinbaren können, in welchem Umfang sie sich über den Standard der ISO 14306 hinaus auf eine Erweiterung verständigen. Es ist davon auszugehen, dass mit der Bereitstellung von Softwarelösungen der Großteil der Automobilindustrie in diesem oder im nächsten Jahr auf den kompletten Umfang von JTIAP umsteigen wird.

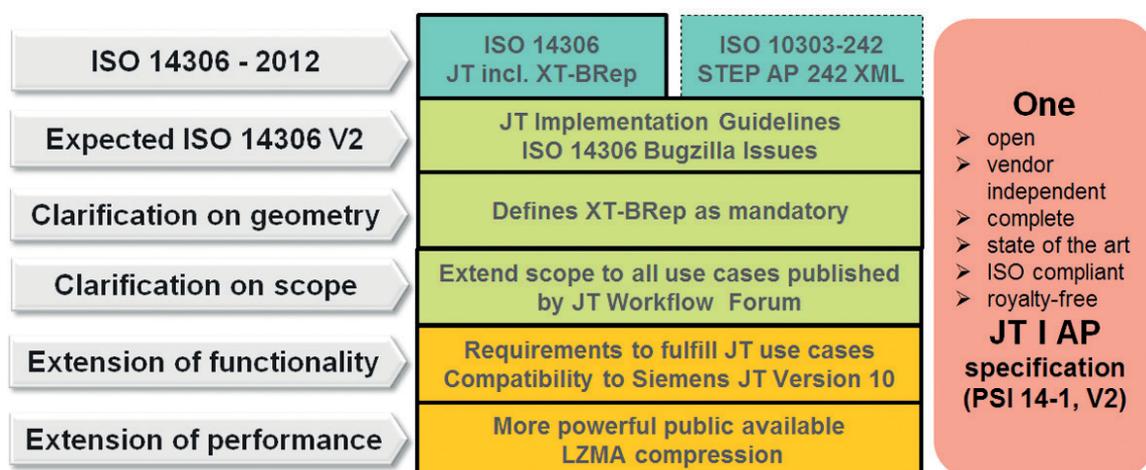


Abbildung 6: Modularer Aufbau von JTIAP V2 [KA16]

Die Spezifikation wurde im November 2016 veröffentlicht. Jetzt nach sechs Monaten haben schon ca. 50 % der relevanten Systemanbieter und -integratoren auf Basis von JTIAP-V2-Lösungen bereitgestellt oder planen, diese in den nächsten Wochen anzubieten.

4 JT in der Automobilindustrie

Schon bei der Entwicklung von STEP stand die Intention im Raum, Geometrie in einem neutralen Format parallel für den Gesamtprozess bereitzustellen. Bei der Geometriebeschreibung stand die exakte Beschreibung im Vordergrund. Die sehr umfassende Spezifikation von STEP hat aber einen großen Interpretationsspielraum gelassen und war von Seiten der Dateigröße und Performance nicht besonders leistungsfähig. Es fehlen auch bis zum heutigen Tag kommerzielle Tools zur leistungsfähigen Visualisierung, die kostengünstig oder als Free-Ware bereit stehen.

Die Entwicklung von JT hat sich von der anderen, sehr pragmatischen Seite der Fragestellung genähert. Im Vordergrund stand zu Beginn die Visualisierung auf Basis tessellierter Daten mit unterschiedlichen „Level of Detail“. Erst zu einem späteren Zeitpunkt wurde die exakte Geometriebeschreibung auf Basis von XT-BReps, die Strukturinformationen und die Produkt- und Fertigungsinformationen (PMIs) ergänzt. Gerade die PMIs waren die Voraussetzung, dass sich in wesentlichen Teilen der Automobilentwicklung ein zeichnungsloser Entwicklungsprozess etablieren konnte. Statt einer normgerechten Zeichnungsableitung werden vereinfachte Zeichnungen auf Basis von 3D-Geometrie automatisch erstellt und die Zeichnungsinformationen auf Basis von PMIs ergänzt. Um in einem Erfahrungsaustausch „Best Practices“ zu erstellen, hat sich im prostep ivip Verein ein JT-Workflowforum etabliert und in einem Whitepaper 30 Use-Cases für die JT-Nutzung dokumentiert. Inzwischen wurde diese Zahl noch erhöht [DH17]. Bei der Definition der Use-Cases wurden konzeptionell zuerst die Visualisierungsprozesse beschrieben, die es Nicht-CAD-Anwendern ermöglichen, von der 3D-Beschreibung der Geometrie zu profitieren. Darüber hinaus wurden Use-Cases definiert, die neben der Visualisierungsfunktionalität die Nutzung von PMIs in den Vordergrund stellt. Die Use-Cases mit einer mehr oder weniger intensiven Prozessintegration beschreiben die komplexeren Anwendungen in der Produktentwicklung.

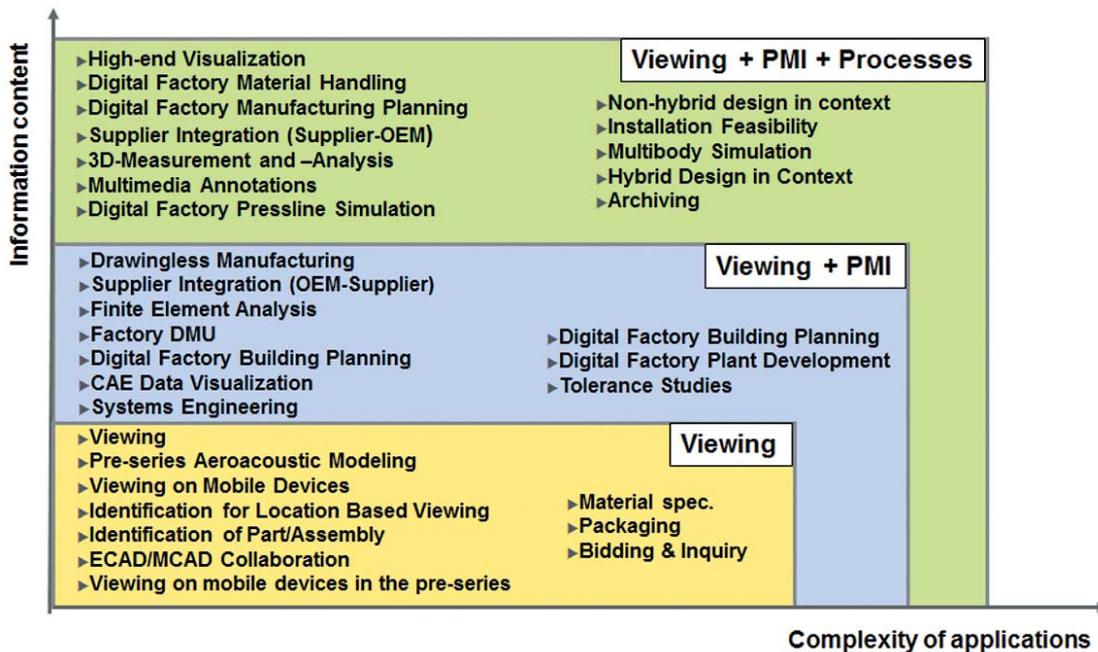


Abbildung 7: Übersicht über die Use-Cases von PSI 14-2 [PSI15]

Bei der Beschreibung der Use-Cases konnten auch Erweiterungsbedarfe in der Funktionalität von JT ermittelt werden, die dann in die Spezifikation des oben beschriebenen JT Industrial Application Package V2 eingeflossen sind. Gleiches gilt auch für die Integration eines leistungsfähigeren Kompressionsalgorithmus, der die Dateigröße deutlich reduziert und die Performance verbessert.

5 JT in einzelnen Unternehmen

Die einzelnen Unternehmen in der Automobilindustrie sind bezüglich des Durchdringungsgrades der JT-Nutzung sicher auf unterschiedlichen Gebieten unterwegs, folgen aber im Wesentlichen der gleichen Vision, der Etablierung von JT als durchgängiges, CAD-System-unabhängiges Prozessformat.

Als Pioniere auf diesem Gebiet sind sicher die amerikanischen Unternehmen GM und Ford anzusehen, die schon vor ca. 20 Jahren mit der JT-Nutzung begonnen haben. Vor ca. 10 Jahren sind die weiteren internationalen Automobilhersteller Schritt für Schritt auf diesen Zug aufgesprungen.

Die Automobilzulieferer sehen in der Nutzung von JT hauptsächlich die Chance, in ihren eigenen Unternehmen ihr bevorzugtes CAD-System zu nutzen und

gleichzeitig mit einem vertretbaren Aufwand mit ihren Kunden kommunikationsfähig zu sein.

Im Einzelnen kann die JT-Strategie in den einzelnen Automobilunternehmen wie folgt beschrieben werden [KA17]:

- **Audi/Porsche/Volkswagen (Volkswagen-Group):** JT wird hauptsächlich für Visualisierungs- und DMU-Prozesse genutzt. Perspektivisch möchte die Volkswagengruppe JT in allen Produktentwicklungsprozessen einführen.
- **BMW:** nutzt JT ebenfalls für Visualisierung, DMU und zur Unterstützung von Down-Stream-Prozessen und verfolgt die Vision eines weltweiten 3D-Containers.
- **Daimler:** nutzt JT als internes Prozessformat. In den Partnerschaften und Joint-Venture wird zu 100 % auf Basis von JT als Geometrieformat zusammengearbeitet. In der Zusammenarbeit mit Lieferanten sind bereits mehr als 20 % auf JT als Austauschformat umgestellt, Tendenz steigend.
- **Ford:** ermöglicht mit JT die Interoperabilität von Produktdaten vom Konzept-Design bis zu Marketing und Sales.
- **GM:** nutzt JT als integratives PDM-Format für Styling und Produktentwicklung.
- **Mazda:** ermöglicht auf Basis von JT die Multi-CAD-Nutzung.
- **Nissan:** sieht in JT das zentrale Format für die internen Prozesse und für die Kooperation mit Renault und Daimler.
- **Suzuki:** nutzt JT für 3D-Viewing und Datenübersetzung zu Zulieferern und internationalen Standorten.
- **Tata Motors:** verfolgt die Vision „3D for all“ auf Basis JT.

- **Volvo Cars:** sieht JT als zentrales Prozessformat für die Entwicklung und die Folgeprozesse.
- **Bosch:** nutzt JT als Format für die Produktdokumentation, Partnerintegration und perspektivisch für die modellbasierte Produktdefinition.
- **Continental Automotive:** sieht JT als strategisches Format für DMU und Partnerintegration.
- **Delphi:** nutzt JT als Daten-Backbone für die Produktentwicklung.
- **Schaeffler:** nutzt JT heute als neutrales Format für die Datenübersetzung und möchte die Nutzung in Richtung externe Zusammenarbeit ausbauen.
- **ZF/TRW:** sieht in JT die Lösung für eine heterogene Multi-CAD-Landschaft.

Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ganz im Gegenteil, es gibt eine Vielzahl von Unternehmen, nicht nur in der Automobilindustrie, die JT sehr intensiv nutzen und in einzelnen Prozessabschnitten „Best-Practice-Lösungen“ erarbeitet haben. Als ein Unternehmen aus einem ganz anderen Bereich ist sicher LEGO zu nennen, deren kompletter Entwicklungs- und Industrialisierungsprozess auf JT beruht.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Produktentwicklung von komplexen High-Tech-Produkten wie Automobilen ist heute mehr denn je gekennzeichnet von einer internationalen Zusammenarbeit, sowohl zwischen den einzelnen Herstellern als auch mit deren Lieferanten-Netzwerken. In einem solchen Netzwerk erfordern Wettbewerbsfähigkeit und Prozesseffizienz ein Prozess-, Methoden- und Systemkonzept, das sich auf gemeinsam definierte Standards abstützt.

Das Beispiel der Entwicklung und Nutzung des 3D-Formats JT auf Basis von ISO 14306 zeigt auf, wie sich über einen längeren Zeitraum Prozesse und Formate entwickeln und verbreiten können. Es zeigt aber auch, dass dies kein Selbstläufer ist, sondern der intensiven Bearbeitung und Kommunikation durch industrielle Interessengruppen bedarf.

Um der Dynamik des sich ständig erweiternden Bedarfs gerecht zu werden, braucht es neben den offiziellen Standardisierungsgremien wie ISO oder DIN auch industrie-nahe Organisationen wie den prostep ivip Verein, die mit einem recht hohen Maß an Sichtbarkeit und Verbindlichkeit diese Standards voranbringen und die spätere formale Standardisierung vorbereiten.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [DH17] Dotzauer; Handschuh, Die Rolle von JT in Digitalen Transformationsstrategien, prostep ivip – Symposium, Essen, Mai 2017.
- [GÖ06] Göschel, B. VDA Technischer Kongress, München, März 2006.
- [HA11] Handschuh, S., Dissertation TU Kaiserslautern, 2011.
- [HA13] Handschuh, S, Driving JT@Daimler, EDM/CAE Forum, Stuttgart, Juli 2013.
- [KA16] Katzenbach, A., Success-Story of JT, PDT Europe, Paris, Nov. 2016.
- [KA17] Katzenbach, A. JT Enabled Digital Transformation in Automotive Industry, Siemens PML Connection Americas, Indianapolis, Mai 2017.
- [PSI10] prostep ivip Verein, Whitepaper JT in der Anwendung, 2010.
- [PSI15] prostep ivip Verein, Recommendation PSI 14 Part 2, 2015.

- [PSI16] prostep ivip Verein, Recommendation PSI 14 Part 1, V2.0.1, Nov. 2016.
- [PSI17] 7th JT Application Benchmark, Long Report, march 2017.

Rixels: towards Secure Interactive 3D Graphics in Engineering Clouds¹

Christian Althenhofen, Andreas Dietrich, André Stork, Dieter Fellner

Interactive Engineering Technologies

Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research IGD

Fraunhoferstrasse 5

64283 Darmstadt, Germany

christian.althenhofen@igd.fraunhofer.de

andreas.dietrich@igd.fraunhofer.de

andre.stork@igd.fraunhofer.de

dieter.fellner@igd.fraunhofer.de

Abstract: Cloud computing rekindles old and imposes new challenges on remote visualization especially for interactive 3D graphics applications, e.g., in engineering and/or in entertainment. In this paper we present and discuss an approach entitled ‘rich pixels’ (short ‘rixels’) that balances the requirements concerning security and interactivity with the possibilities of hardware-accelerated post-processing and rendering, both on the server side as well as on the client side using WebGL.

Index Terms: Remote rendering, application sharing, rich pixels, web-based rendering, cloud computing, scientific visualization, remote post-processing

1 Introduction

Cloud computing is more and more digging into interactive applications where not only elastic computing on big data is required but graphical interaction with 3D models/3D content. With the virtualization of computing power, also

¹ Erstveröffentlichung <http://publica.fraunhofer.de/urns/urn:nbn:de:0011-n-3773384.html>

the demand for virtualization of the rendering power increased. This stimulates developments such as NVIDIA’s GRID graphics [4] able to serve more than one ‘user’ with hardware-accelerated rendering. To this end, classical image or video encoding and transmission techniques are adopted to transfer screen content to the client machine. This approach can be combined with any off-the-shelf application. However, it requires transmitting new pictures with every single user interaction and is thus prone to create high network traffic. In parallel, WebGL [5] has become a standard feature of all web browsers and provides hardware-accelerated rendering from within the web browser – a feature which was hardly conceivable few years ago. With WebGL, 3D content can be rendered interactively after sending the graphical information (the 3D model, the simulations results, etc.) to the web client – as long as the power of the client machine is sufficient for the current model complexity. Still, compared to desktop applications, web applications have limitations, e.g., speed/flexibility of JavaScript or the limited feature set of WebGL compared to OpenGL. More importantly, the transmission of large datasets – common in cloud computing – to the client can take a considerable amount of time, so that ‘time to first picture’ may be much longer than in an application sharing approach where the data resides on the server and only images are being sent. However, for many applications the biggest ‘problem’ with this approach is the fact that the 3D data is being sent to the client, which opens the possibility to grab confidential content from the network in a form close to the original model data – a real acceptance hurdle for many professional users.

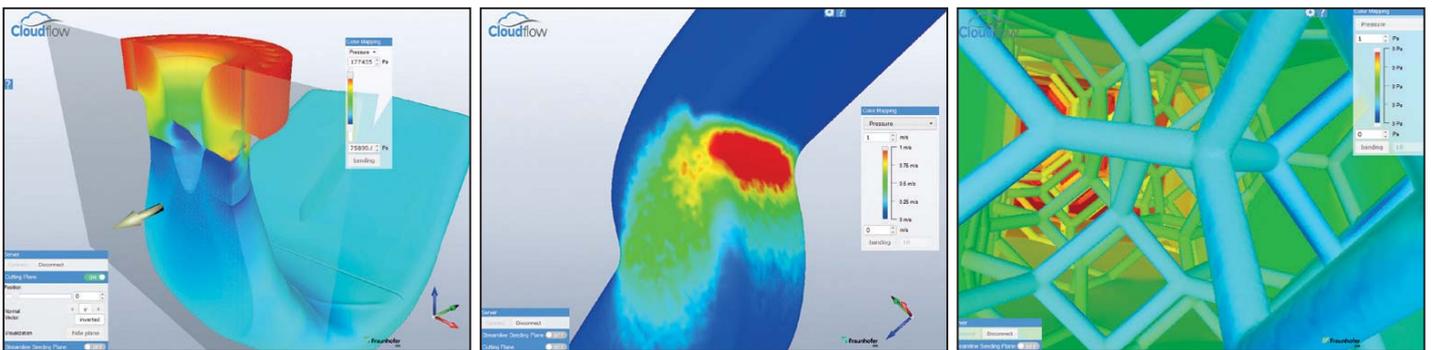


Figure 1: Three images showing the rich pixels approach used to visualize 3D simulation results in a web client

These observations (virtualization and hardware acceleration on the server side and the availability of WebGL on the client side) have motivated us to develop

an approach that we entitled ‘rich pixels’ or ‘rixels’. In our rich pixels approach, data resides on the server and we use hardware-accelerated server-side post-processing and rendering based on OpenGL with all its functionality, flexibility and performance. The result is not transferred as a screen shot (RGB image), but as a set of pixels enriched with depth information and arbitrary additional attributes read from the server’s (deep) framebuffer. These rich pixels are securely transmitted to the client and visualized in a web browser using WebGL. Visualization is not only limited to rendering. Because of the availability of pixel attributes, it is possible to instantly perform post-processing operations also on the client.

This hybrid approach – a combination of ideas from image transmission and local WebGL rendering and processing – promises to better serve the partially contradictory requirements:

- **Low network load:** Only data that is needed should be transferred. It also should not be necessary always having to keep up a high-bandwidth connection.
- **Interactive behavior:** The visualization client should always remain responsive without freezing or stuttering.
- **Security:** It should be possible to visually inspect a model, but without having to send the original data to the client.
- **Best use of HW rendering resources:** Not only hardware on the server side, but also any available resources on the client side, such as GPUs, should be leveraged.
- **Broad range of client devices:** A client application should not depend on specific hardware or operating systems. Ideally, it should work within a web browser.

We benchmarked our approach and found performance benefits of a factor of up to 19.8 in comparison with a standard application sharing solution like UltraVNC.

1.1 Contributions

The approach presented in this paper provides the following main contributions in the fields of application sharing and remote rendering:

- Combination of powerful hardware- accelerated server-side rendering with flexible web-based client-side rendering.
- Client-side navigation without additional data transfer from the server because pixels are enriched with depth values.
- Shader-based post-processing on the client using additional pixel attributes.
- Security of the 3D model since only rich pixels are sent from which the 3D model cannot be easily reconstructed.

1.2 Paper Outline

The remainder of the paper is structured as follows:

Section 2 gives an overview of existing technologies and approaches in the fields of application sharing and remote rendering. Section 3 describes our approach of rich pixels in detail while section 4 presents the client-server architecture used in our setup. Section 5 introduces remote post-processing as an example use case for our technique and section 6 provides multiple measurements of network traffic comparing our approach with the commonly used application sharing software UltraVNC. Section 7 concludes this paper by reflecting on the presented approach and summing up its advantages and current limitations. Finally, section 8 presents ideas for future improvements.

2 Related Work

The approach proposed in this paper draws from a variety of previous techniques. In the following sections we will provide a brief overview of fields our system is related to.

2.1 Remote Rendering

Remote rendering, i.e., producing an image on one device and displaying it on another network-connected device, has been an important research topic for decades, and a plethora of different techniques and systems have been proposed. We will not go into detail here and instead refer the interested reader to Shi and Hsu [1], who provide a comprehensive survey of remote rendering systems. According to them, remote rendering can be categorized into a continuum of model-based and image-based systems, where on the one end of the spectrum the original model data is transferred and on the other end only the final images are transmitted. The approach proposed here represents a mixed or hybrid technique where image data augmented with model information is being sent.

2.2 Application Sharing

Probably the most widely used remote rendering variant is application sharing, i.e., running a complete application on a remote server, and displaying the results on a local machine using a purely image-based transfer mechanism. A popular protocol for doing this is the Virtual Network Computing (VNC) system [2], which allows for controlling a remote machine over a network by sending input device events and replicating the remote display on a local workstation by receiving and displaying RGB images with changing content generated by the remotely running application through the received input events. A prominent open source implementation of VNC is UltraVNC [3], which we use for comparison. While VNC can support arbitrary applications, it relies on the availability of sufficiently high network bandwidth, in particular when compression artifacts and interaction latency are not tolerable.

2.3 Virtualized Hardware Acceleration

A recent trend in cloud computing is the increasing availability of graphics hardware accelerators on the server side. In addition, current state-of-the-art solutions, such as NVIDIA GRID [4], enable the virtualization of graphics processors, so that a single physical GPU can serve multiple client devices. This is realized by providing user processes with their own address space, command buffers, and rendering contexts. The GRID management software is integrated into a desktop hypervisor, where for each virtual machine an instance of a virtual GPU device driver exists. GPUs with GRID support use on-chip hardware video encoders to generate a H.264 compressed bitstream of desktop images. However, this does not allow the images to carry additional data, such as depth or other attributes.

2.4 Web-based Visualization

Another current development is the possibility to leverage graphics hardware acceleration from within web browsers. In order to access 3D graphics capabilities in a web browser without the need for an additional plug-in, the Web Graphics Library (WebGL) provides a JavaScript API. WebGL [5] is based on OpenGL ES 2.0 and allows for employing shaders written in GLSL. In our system WebGL is used in conjunction with X3DOM [6], which enable handling of 3D scenes in HTML5 and to manipulate them through the HTML document object model (DOM). Although a large number of remote visualization solutions exist, none of them provides a perfect fit for our requirements. Particularly, being able to support arbitrary client devices (desktops, as well as tablets, phones, etc.), but also to deal with low network bandwidth by performing model inspection and post-processing on the client side, lead to the design of the rich pixels system.

3 Rich Pixels Concept

In comparison to the usual transmission of RGB images (one byte for each channel: red (R), green (G), and blue (B) per pixel), we transmit framebuffer content, more precisely content of a render target, containing the visible pixels (after the painter's algorithm/rasterization) together with their positional information (x, y, z) and additional attributes. These additional attributes could for example

be different IDs for different parts of the geometry, or physical values from simulation results (like pressure or velocity), and can be used for further processing on the client side.

3.1 Bandwidth Reduction

Since background pixels are discarded in our approach, the amount of data actually being sent to the client strongly depends on the size, shape, and orientation of the content on the server’s virtual screen.

Especially when rendering only the outlines or the wireframe of a 3D object, the required bandwidth is much lower than it would be when transferring the entire framebuffer. In contrast, the worst case would be to have a solid model that covers every single pixel of the virtual screen. Therefore, the size of the framebuffer/render target (total number of pixels) can be used as an upper bound for the amount of data needed to transmit one single frame. The exact value depends on how many additional attributes are sent per rich pixel.

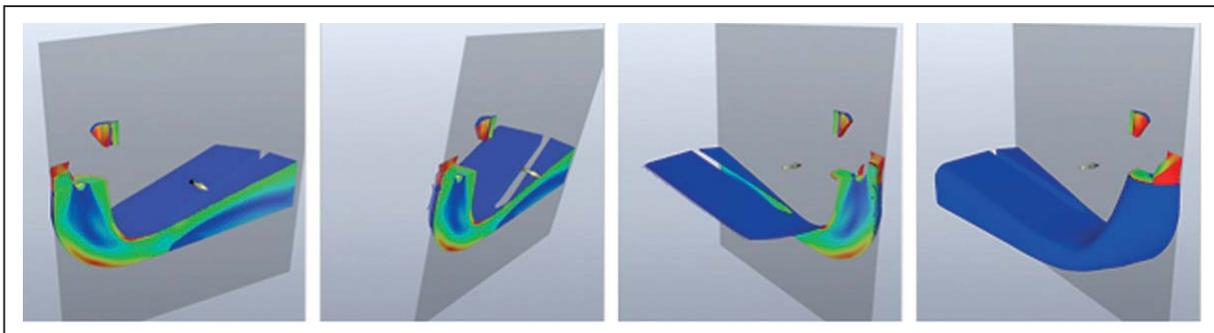


Figure 2: Rotation done on a dataset containing simulation results with RPP's preview feature activated. As the rotation angle increases, not much of the original geometry is visible anymore and the user’s orientation in the dataset might get lost (3rd image).

3.2 Advantages of sending additional information with each pixel

With rich pixels, the partial 3D model gives enough visual reference for the user to allow proper orientation under rotations of limited extent. The user can navigate the scene without requiring a new image from the server with each interaction. This offers a built-in preview mechanism when rotating the scene on the client. An example can be seen in Figure 2 where a rotation around a 3D dataset

is shown. The rotation shown in the first three images is done locally whereas for the last image, new data from the server has been requested.

Since we transmit additional attributes with the pixels, we can render them in different ways. This is especially important for scientific visualization where in many cases pixels need to be false-colored depending on the mapping the user wants between their attributes and colors. This mapping can be done directly in the web browser using shaders, again without requesting a new image from the server. So the user could inspect simulation results by changing the color mapping interactively without the need to request any new data from the server as long as he does not change the camera.

3.3 Security

When it comes to cloud environments, confidentiality and security of intellectual property is a common concern. In the field of cloud-based remote visualization, this corresponds to the security of the 3D model that has to be visualized. In our approach, the pixels themselves contain much less information about the real model than the full topological set of triangles typically transferred to WebGL applications. Thus, the 3D model cannot be fully downloaded by the client and cannot be intercepted during transmission. The main data resides save on the server.

In summary, the two core mechanisms of the rich pixels approach – transmitting only relevant pixels and augmenting them with auxiliary information to aid reconstruction and post-processing – allow for realizing all the initial requirements listed in chapter 1, therefore avoiding drawbacks of existing solutions in this regard.

4 Client Server Architecture

Rich pixels are created by a server application using hardware-accelerated off-screen rendering with OpenGL and are then transmitted to the client application. The client itself is a website based on HTML and JavaScript that renders the rich pixels as a 3D point cloud using X3DOM and WebGL. The underlying trans-

mission is handled using the WebSocket protocol combined with the Protobuf package [10]. Protobuf (full name ‘Protocol Buffers’) is a platform-independent open source framework developed by Google for efficient serialization and deserialization of structured data in multiple programming languages. For secure communication, the WebSocket connection is configured to use WebSockets over SSL/TLS (wss:// instead of ws://) for encrypted communication. In addition, symmetric or asymmetric encryption mechanisms can be applied on the rich image data directly. Figure 3 shows a diagram describing the architecture and its components.

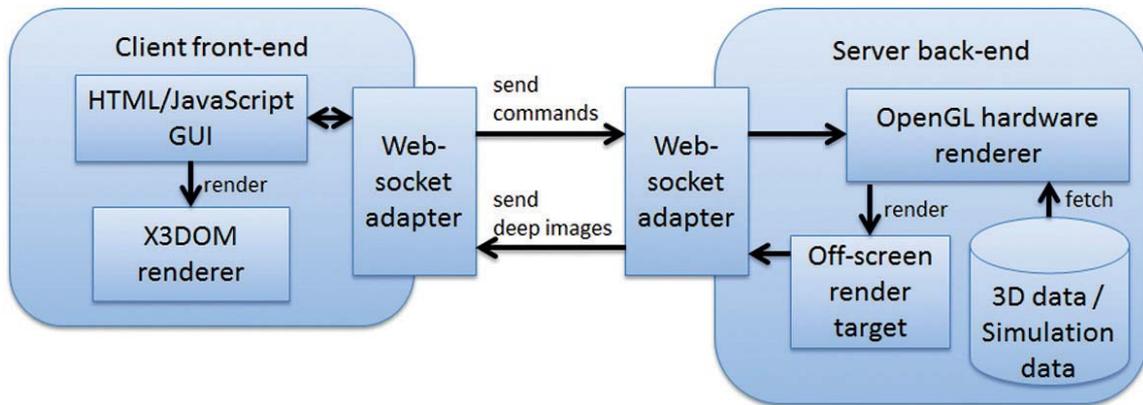


Figure 3: Client-server architecture for web-based rich pixel transmission and rendering

The server back-end can be controlled by sending specified commands from the client using dedicated Protobuf messages. The most common command is to update the orientation of the camera during user interaction. Therefore, the current camera matrix is transmitted to the server, the scene is rendered on the server using this camera matrix, and the resulting rich image is sent back to the client. As many of these commands can be produced in a short amount of time by moving the camera around, they might be issued faster as they can be processed in a low bandwidth environment. To avoid stacking of commands on the server side, the server back-end offers a queuing system that allows skipping intermediate messages of the same type. For the camera example, all received camera matrices except the most current one would be discarded when processing the next command.

As an alternative to queuing and discarding intermediate camera positions, the command can also be issued only once after the camera interaction is finished using the preview feature described in section 3.2.

Since only the 3D screen content is handled, this approach requires the re-implementation of a Web-based user interface to control the remote application. This additional effort is the pay-load for the advantages of our approach and using WebGL on the client. However, not the entire server-side user interface might be needed in the remote scenario. Therefore, different subsets of the server's functionality could be offered on different client websites; one for each class of users.

The WebGL/JavaScript implementation of X3DOM provides generic interaction and navigation methods [6]. These include mouse based camera navigation modes. For example, in 'Walk' mode, pressing the left button and moving the mouse pushes the camera forward. Based on an updated camera position, the server computes a new frame and sends the resulting rixels to the client. In addition, the JQuery user interface provides buttons and sliders to control the post-processing operations (stream line generation, color mapping, etc.) on the client and server sides.

5 Remote Post-Processing

Engineering clouds are especially needed where large datasets are handled or where in conjunction huge simulation models are calculated / solved. To do this, engineering clouds offer high-performance computing (HPC) clusters. The storage and compute resources provided by a standard client machine are in most cases not sufficient to calculate, process, and inspect this amount of data. Here is where our rich pixel approach can best show its benefits. With this in mind, we have developed and tested a remote post-processing (RPP) setup for 3D simulation results.

The RPP system consists of a server back-end, which can perform complex post-processing tasks like calculating cutting planes or seeding stream lines in a simulation result dataset and prepares the actual rendering, as well as of a client application which shows the final results in a web page. Instead of transferring the RGB image from the server to the client as it is done in VNC-like approaches,

the server application renders its scene into a framebuffer object and sends its rich pixels to the client, where they are rendered as a set of colored 3D points in the client web page. Figure 4 shows an example of the RPP client rendering a set of rich pixels containing 3D geometry and stream lines.

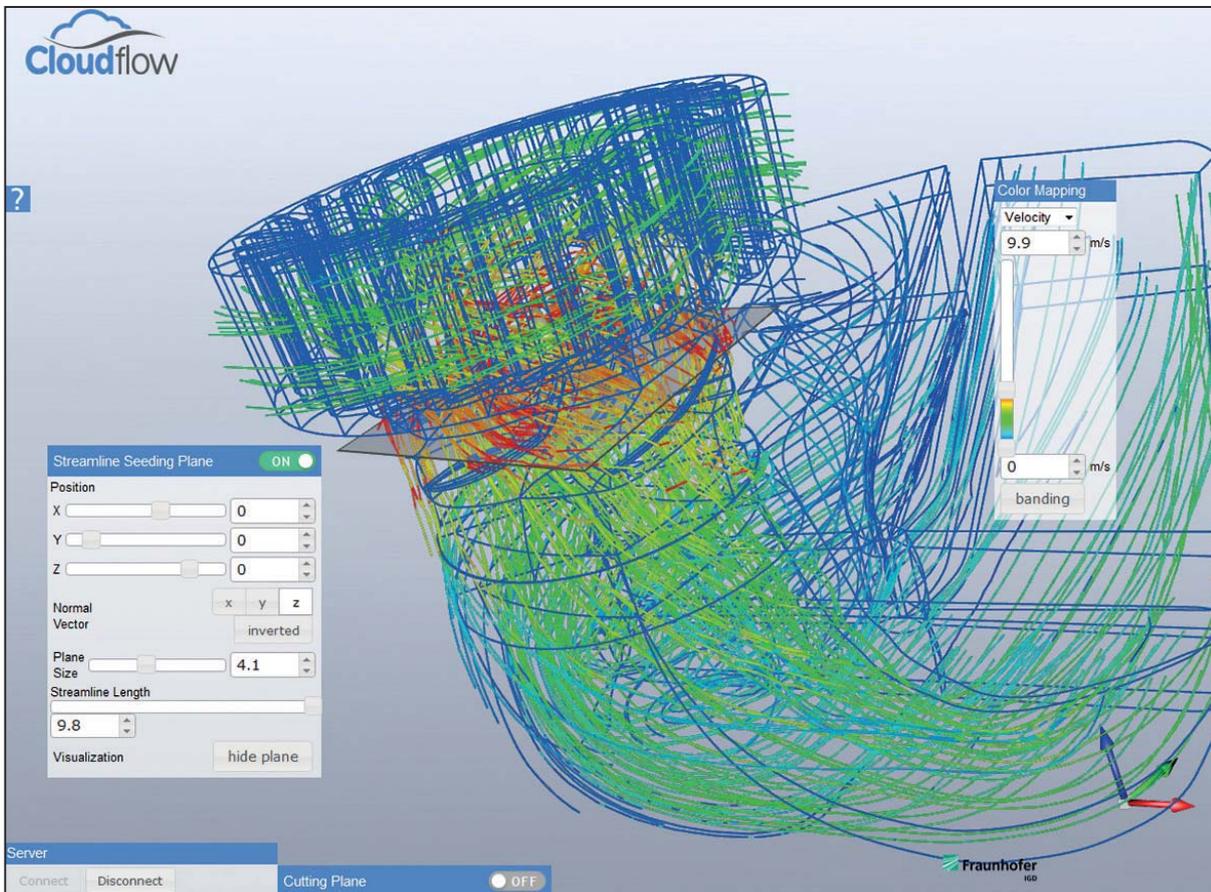


Figure 4: Stream lines computed on a dataset containing results of a CFD simulation. The stream lines are calculated and rendered on the server and are then transmitted to a web client as a set of rich pixels.

As the mentioned post-processing features are very compute intensive, a powerful multi-threaded hardware is needed in order to run them at interactive computation times. When computing a cutting plane or tracing stream lines through the domain, the entire volumetric dataset has to be taken into account. In most engineering use cases these datasets consist of hundreds of megabytes or gigabytes of geometry and simulation results and therefore would take too long to be transferred completely to a remote client. Even if the data could be transferred, the client in most cases would not have sufficient memory and compute resources to process it on its own. Additionally, the requirements for GPU resources for rendering the complete dataset are much higher than for rendering rich images.

Despite all the technical limitations of a remote client, sending the simulated geometry and the simulation results completely to a remote client in a cloud based scenario is not desired by most engineering companies. The data is a highly valuable asset to these companies and must not be transferred freely over the internet.

For the presented scenario of remote post- processing of large simulation data, the rich pixels approach is well suited, since the data resides save on the server where enough compute and rendering resources are available while it can be used with a flexible web client with low requirements.

6 Evaluation

In order to compare the performance of rich pixels with VNC – a common standard application sharing software – we use a post-processing scenario. A set of network traffic measurements have been conducted to answer the question where the rich pixels approach shows benefits in practice.

6.1 Test Setup

In order to gather representative measurements, a test suite has been designed that covers the typical use cases of a post-processing session analyzing CFD simulation results. The task sequence consists of the following steps:

- a. Idle for 15 seconds (doing nothing):
We simulated a user in front of the screen doing nothing for 15 seconds. The goal is to determine the amount of data transmitted to keep the connection alive and to maintain the current status.
- b. Rotating the camera:
This step performs a rotation of the camera around the 3D model (from left to right and back to its initial state).

- c. Zooming in and out:
In this step, the camera is zoomed out a certain extend and zoomed back in again to the initial position.
- d. Changing the color mapping:
In this step we simulate the user changing the mapping between values and colors of the CFD result. It consists of changing the interval of the color ramp several times and of changing the displayed physical quantity of the velocity vector (from magnitude to “w” component).
- e. Positioning the cutting plane:
In this step, the position of the cutting plane is varied and the amount of transmitted data is monitored.
- f. Parametrizing stream lines:
Finally, we vary the position and the parameters of a seeding plane from which stream lines are calculated through the CFD field: first, we move the seeding plane to different positions inside the dataset, secondly, we modify the seeding parameters (seeding direction, size of seeding plane and number of seeds).

This sequence of actions has been executed in three different setups to gather information on corresponding network traffic:

1. The RPP client with the preview feature turned off.
2. The RPP client with the preview feature turned on.
3. A direct connection to the post-processing server using UltraVNC.

To measure the pure network traffic, thus deducting the required bandwidth for interactive user experience, the client and server machines were placed in a local network and connected via 1 GBit/s Ethernet. To collect information about the

amount of data sent from the server to the client, the network monitoring tool WireShark 1.12.4 was used.

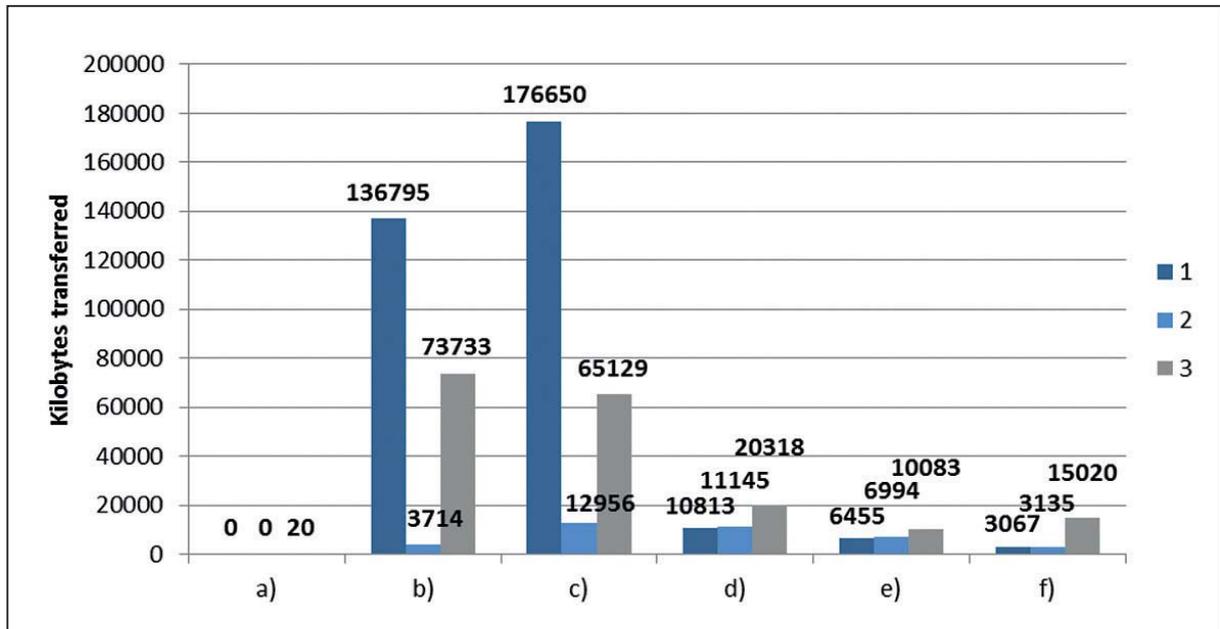


Figure 5: Amount of network traffic created by the different actions performed with RPP (1, 2) and VNC (3) as described in section 6.1. These actions are idling (a), rotating (b), zooming (c), color mapping (d), cutting (e) and calculating stream lines (f).

6.2 Result

Figure 5 summarizes the results of our network traffic measuring. It shows the six steps of our test sequence in the three settings described above. It clearly demonstrates that advantages and disadvantages of rich pixels compared to VNC depend on the step and on the configuration of our rich pixel application.

Step a) reveals that the RPP client creates no network traffic when idling, whereas UltraVNC still exchanges data in this case. However, the amount of data is small (20 KB).

When transmitting images due to camera rotation or translation (step b and c), VNC is roughly two to three times more efficient as the web-based RPP client using rich pixels. This mainly results from the fact, that we do not yet compress the rich pixel information and each pixel is carrying more information than in the VNC case.

While VNC needs to send an image with each camera movement, we can exploit the rich pixel information under camera movement as declared in 2 – preview feature enabled. While moving the camera the rich pixels can still be transformed perspectively correct using the local graphics hardware on the client machine giving the user enough orientation as long as the camera manipulation does not exceed certain limits. When finishing the interaction (releasing the mouse button), a new rich pixel image is being calculated from the current perspective and transmitted. By only transmitting the new dataset once the camera interaction has finished, it reduces the amount of network traffic remarkably. In this test, the reduction factor is 13.6 for zooming and 36.8 for rotation. In general, the actual speed-up factors may vary depending on the user interactions. However, if the rotation angle is too big without requesting a new set of rich pixels, user orientation in the 3D scene may get lost (see Figure 2).

When performing interaction with GUI elements, the rich pixel approach outperforms VNC by a factor of 1.5 to 5 (as in steps d, e, and f). The explanation is straight-forward, since the GUI of the rich pixel client is web-based, there is no need to communication with the remote application at all while only acting on the 2D GUI. In contrast, VNC has to display any change in a 2D GUI element such as a button, a menu, a pop-up, etc. on the client machine by transmitting the corresponding image. The rich pixel client only sends the corresponding command once the Web-GUI interaction has finished. The processing (e.g., cutting the volumetric flow field, seeding and integration of stream lines, etc.) is performed on the server. The rich pixel server only sends a new image after the calculation is done, while VNC is sending a constant image stream also under 2D GUI interactions.

This benefit has to be ‘paid’ by developing a corresponding Web-GUI for the remote application while VNC supports off-the-shelf applications as they are.

7 Conclusion

We have presented a novel approach to remote rendering and remote post-processing in a cloud scenario by utilizing both the server’s and the client’s rendering capabilities in a combined fashion, which works well for modern cloud-based engineering use cases. By securely sending rich pixels instead of RGB images,

we can interact with the data on the client to some extent without requesting new images from the server every time. Client-side shader-based post-processing is a big advantage with high potential benefit of this approach. The 3D model itself resides on the server and therefore cannot be downloaded directly or intercepted during transmission.

The comparison with UltraVNC reveals that the benefits and drawbacks of rich pixels depend on the use case. For continuous camera movements, VNC is still up to three times faster than our approach. Even with compression, we do not expect to fully compensate this benefit since we simply have more data to transmit per pixel that we then exploit in local web-based hardware-accelerated rendering. However, the fact that we do not need to transmit any background pixels and no 2D GUI updates is another pro for rich pixels. Anyway, for discrete actions, rich pixels outperform VNC by a factor of up to 19.8.

An obvious limitation of our technique is due to the point based approximation of altered (rotated, translated, zoomed) views, which results in visual artifacts stemming from missing scene geometry. When reducing bandwidth by simultaneously increasing the intervals between requests of new pixels, more and more parts of the scene are lost. Similarly, image-based methods suffer from increased visual artifacts when applying lossy image compression. However, they always provide a complete image of the 3D scene. In the case of extensive bandwidth reduction, artifacts caused by our approach might be perceived as more objectionable by domain users. It would be an avenue of future research to conduct user studies and to evaluate an acceptable performance-quality tradeoff.

8 Future Work

There are several points, where our approach could be improved in order to further reduce network traffic especially for steps b) and c).

8.1 Compression

In its current state, the rich pixel data is transmitted exactly as it is stored in the server's frame buffer without any compression. Of course, this is not optimal

and could be improved by applying or adapting different image/data compression techniques (see [7] for details). When trying to do this, the compression and decompression time has to be balanced w.r.t. the potentially reduced duration for transmission of the compressed data.

8.2 Progressive Transmission

The set of rich pixels can also be regarded as a large 3D point cloud. With this mental image in mind, progressive streaming methods like the ones presented in [8] and [9] could be applied. This would further increase the responsiveness and interactivity of the rich pixel client application especially for large-resolution render targets and / or low-bandwidth environments.

8.3 Application to other domains

The presented architecture is not tied to the simulation domain. This use case was chosen because this is an obvious one to have additional values besides the color (like stress, temperature, pressure, or velocity). Of course, any other dataset that provides positional information in combination with extra attributes could be displayed. For example, an interesting application would be the visualization of large cultural heritage objects, where in addition to the spatial location of a pixel not only color values, but also surface characteristics could be transferred.

Acknowledgement

We would like to thank Daniel Weber and Thomas Gierlinger from the Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research IGD, Felix Loosmann from the Graduate School of Excellence Computational Engineering GSC CE, as well as Sven Müller and Martin Becker from Stellba Hydro GmbH & Co KG for providing 3D models and simulation results used to develop and test our approach, and their additional support.

Literatur

- [1] Shi, S., Hsu, C. H., “A Survey of Interactive Remote Rendering Systems”, ACM, ACM Computing Surveys (CSUR) 47.4, 2015, p. 57.
- [2] Richardson, T., Stafford-Fraser, Q., Wood, K. R., Hopper, A., “Virtual network computing”. IEEE, Internet Computing, 1998, pp. 33–38.
- [3] Ultra VNC remote access tools. www.uvnc.com.
- [4] NVIDIA, “NVIDIA GRID: Graphics Accelerated VDI with the Visual Performance of a Workstation”, http://www.nvidia.de/content/grid/resources/White_paper_graphics_accelerated_VDI_v1.pdf.
- [5] Khronos Group, “OpenGL ES 2.0 for the Web”, <https://www.khronos.org/webgl>.
- [6] Behr, J., Eschler, P., Jung, Y., Zöllner, M., “X3DOM: a DOM-based HTML5/X3D integration model”, ACM, Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology, 2009, pp. 127-135.

- [7] Ratanaworabhan, P., Ke, J., Burtscher, M., “Fast lossless compression of scientific floating-point data”, IEEE, Data Compression Conference 2006, Proceedings, 2006, pp. 133-142.

- [8] Limper, M., Thöner, M., Behr, J., Fellner, D. W., ”SRC-a streamable format for generalized web-based 3D data transmission”, ACM, Proceedings of the 19th International ACM Conference on 3D Web Technologies, 2014, pp. 35-43.

- [9] Evans, A., Agenjo, J., Blat, J, “Web-based visualisation of on-set point cloud data”, ACM, Proceedings of the 11th European Conference on Visual Media Production, 2014, p. 10.

- [10] Protocol Buffers <https://developers.google.com/protocol-buffers/>.

Das digitale Schiff

Realising Immersive Digital Ships

David Thomson

Innovations Projects

AVEVA GmbH

Ruetersbarg 48

22529 Hamburg, Germany

david.thomson@aveva.com

Abstract: Today we are at the beginning of the next frontier of 3D visualisation in shipbuilding with immersive 3D visualisation becoming affordable and practical through the recent maturing of commercial VR and AR headsets. This paper discusses how this emerging technology will drive the increased adoption of 3D both in the shipyard and on into operations, and it looks at the challenges of making Extended Reality (XR) an established and pervasive technology supported by an ecosystem of service providers, keeping the concept of a digital asset alive for the life-cycle of the vessel.

1. Introduction

3D CAD has transformed shipbuilding design and construction. However the traditional business relationships between class societies, owners and charter companies have not yet encouraged the seamless use of 3D-based information through the entire lifecycle, as is found in other industries. Increased focus on digitization is driving a renewed interest in achieving this goal, but it will require fundamental changes to working relationships, and more over how we handle the 3D model as a value adding entity after the ship is built.

One of the key challenges industry faces with the increased adoption of 3D is the success of the humble drawing. For centuries, the drawing has been a key medium for naval architects and shipbuilding engineers to express their design intent and capture it in a portable and sharable way. However, as ships became more complex it became necessary to capture the design in 3D to ensure clash free designs. In the recent past, shipbuilders and engineering companies invested in the building of large scale engineering models to give workers access to 3D. These models would be placed in large rooms, where workers could simply walk into the room and immediately see the 3D version of what they were working on or the problem they were trying to solve. Ironically, as 3D became fully digitised in CAD systems, access to 3D reduced for certain roles in the business, mainly as an expensive CAD workstation was required to look at 3D and a trained user was needed to operate the CAD or visualisation system.

Today 3D visualisation is undergoing a fundamental change. For decades, users have interacted with their computers via a monitor, keyboard and mouse. Looking initially at wireframe, then shaded projections of the 3D model on the 2D screen. Today, those shaded representations are high fidelity images, shaded in a way to make the interpretation of the 3D spatial arrangement as easy as possible but they remain a simple projection of 3D onto a 2D screen.

A combination of maturing technology is now coming together to provide a new way to visualise and interact with 3D models and the information that lies behind them. We are at the precipice of a new age of Immersive Computing and the Immersive Digital Ship, a computer-generated 3D ship that we can walk around in, and interact with as naturally as the real thing. Moreover, we can do this before the ship is built, and share the experience with co-workers, vendors, clients and class regardless of their geographic location, and with full access to all the data associated with the model.

2. Enabling technology

Like any major paradigm shift in computing, the realisation of immersive computing technology has been enabled, not through the maturing of one technology, but through a combination of technologies, that make it practical and affordable to implement:

- Head Mounted Displays (HMDs)
- Room Scale Tracking
- Hand Controllers
- Graphical Processing Unit (GPU) power
- Connectivity and Cloud

Since 2012, a massive revolution has occurred, bringing affordable head mounted displays for Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) with the associated tracking to the market. According to market research company Superdata 100s of millions of smart phone-based VR HMDs, and just under 2 million 6 degrees of freedom (6dof) VR HMDs from HTC, Oculus and Sony have been sold. At the same time, AR has evolved from tablet and phone-based applications to fully mobile headsets with highly accurate inside out tracking and holographic displays, such as the Microsoft HoloLens.

All these headsets offer the user stereoscopic 3D viewing, and with the exception of smart phone-based HMDs, they all track the position of the head and hands in 6 degrees of freedom, offering an exceptional level of immersion and interactivity in the virtual world.

Today's high end HMDs rely on Graphics Processing Units (GPU) to render 2 different images of 3D worlds, which thanks to the gaming industry and machine learning initiatives is increasingly affordable. And even though hardware manufacturers are racing to provide more powerful GPU options it's important to recognize that other technologies, such as eye tracking, will significantly reduce the loads on GPUs through techniques, like foveated rendering.

Meanwhile, high speed internet allows people to communicate and collaborate over distance, seamlessly sharing screen content, video feeds and other data. In the immersive computing world, high speed internet enables a richer form of

telepresence than ever, allowing collaboration with virtual colleagues as if they were in the same room, seeing their body language, hand movements and soon it is expected to be able to see their eyes and facial expressions.

3. The current state of the art – Extended Reality and Mixed Reality

Extended reality (XR) is a new term referring to all real-and-virtual combined environments and human-machine interactions generated by computer technology and wearables. It includes representative forms, such as augmented reality (AR), augmented virtuality (AV) and virtual reality (VR) [1] and the areas interpolated among them. [Wikipedia, 2017].

XR is a more suitable term to describe the direction today's VR and AR technologies are going, as they gradually intertwine and become interchangeable.

The integrated systems of sensors and cameras that support today's immersive experiences allow us to experience something new – Mixed Reality.

A good way to define Mixed reality is to refer to any AR or VR experience where elements of the real world are truly interacting with the virtual world.

For example filming a VR user against a green screen using a camera that is tracked in the virtual world and then real time compositing that image feed onto the virtual world (see image below) enables spectators of VR share in the virtual experience as they can see the VR user in the virtual context. Today even dynamic lighting and occlusion can be rendered on the fly.

More advanced VR set ups have computer vision that allows rendering of real world objects in the virtual world, for example a wall or item of furniture that the VR user may walk into can be blended into the Virtual world for safety reasons, or even seeing the person you are talking to is possible with these systems. For an example of this see Intel's project Alloy.



Figure 1. A green screen and tracked video camera is used to composite real time footage of the VR user onto the virtual environment in Mixed Reality VR – Image-Wikipedia Commons

Mixed reality for AR enables the user to place virtual objects onto real world surfaces and targets having them interact as if they were truly in the physical world. An example would be the placing of a virtual ball onto a real world table, and then having the ball roll off the table if the table is tilted up. Microsoft's HoloLens is Mixed reality enabled due to its 3D computer vision and therefore ability to detect various surfaces.

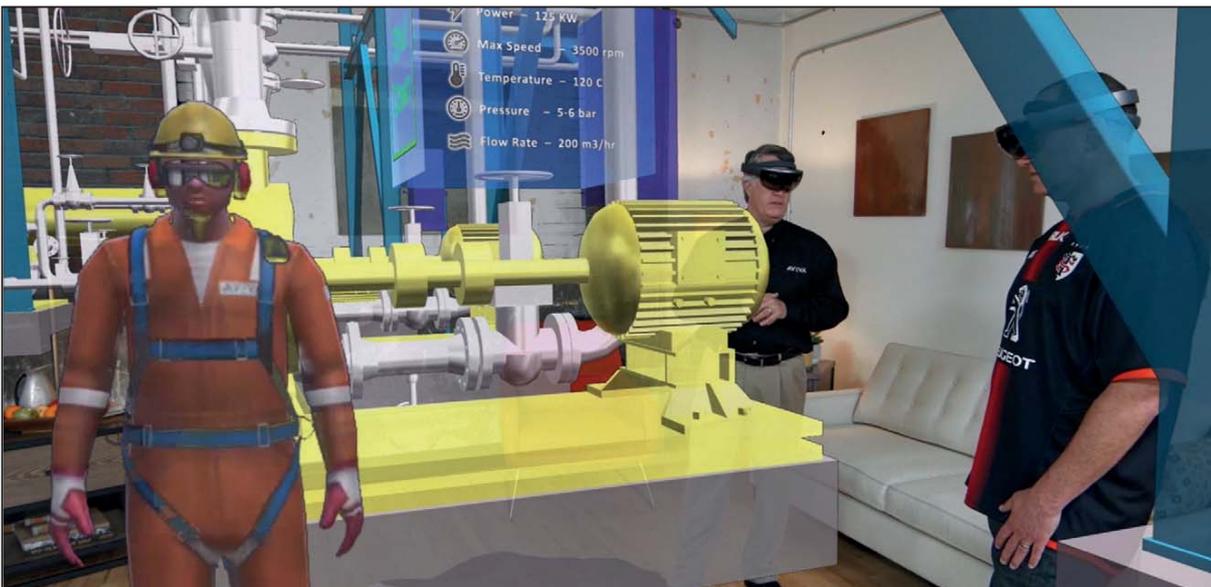


Figure 2. A tracked camera and access to the source 3D model allow mixed reality filming in the Microsoft HoloLens, enabling sharing of the experience even for those without a head mounted display.

4. XR in practice

There are a wide range of use cases where today's XR hardware could be applied to the shipbuilding and operational phases. This chapter also imagines the possibilities with versions of hardware that are in development today, but not yet released.

4.1 Design

Today the ship designer or naval architect works with 2D CAD software to deliver a variety of arrangement and production drawings. Room scale VR offers designers new ways to model in the 3D environment either in a god like scale, looking down on a whole vessel, in real scale, as if they were on the vessel, or as a miniature version of themselves able to climb into the smallest space and model fine details. The 6 DOF hand controllers allow very natural modelling of simple shapes and forms, requiring less control inputs than on a mouse and keyboard.

Its therefore not surprising car designers are already creating concept designs in tools, such as Gravity Sketch or bespoke applications from Seymour Powell.

On the other hand, outfitting and hull designers often struggle to model in high density areas of the vessel, as other objects obstruct their view of a given angle. To overcome this challenge, they usually hide objects they don't want to see and then do a clash check afterwards to ensure their placed objects are not clashing with others. In VR, designers can potentially work more efficiently, immersing themselves in the design by moving their bodies and alternating viewpoints more freely inside the model, and by reducing the need to section cut the model or to hide objects altogether.

4.2 Model Review

3D models are regularly reviewed by team leads, management or other stakeholders, including the client, vendors and class societies. Today this review process takes place with those who are physically on location and gather to view a 3D model projected on to a 2D screen. A 3D pilot is needed to steer the review

session through the model, while anyone who is not physically present usually needs to join the review process by web conferencing.

With XR this type of review can already be replaced by the placement of a holographic 3D model that is placed in the centre of the room. Everyone who is physically present can view the same model by wearing AR or remotely VR HMDs. In addition, as the model is virtual, it can be streamed over the cloud using powerful GPUs to anybody with access to the same app, which implies that remote users can easily attend too with the same access to the model in full 3D and at any scale.

4.3 Fabrication and construction

Shipbuilding fabrication and construction are where the majority of drawings that are produced are consumed. Drawings are the medium that we use to communicate work instructions today but they have several shortcomings: Firstly, reading a drawing, especially a complicated coordination drawing, is an acquired skill and even the most skilled foremen must interpret their meanings. Secondly, as soon as a drawing is produced it is effectively out of date, as changes to the model that produced the drawing cannot easily be transmitted. In the same way, changes made in fabrication and construction are typically marked-up on the drawing and do not make it back to the master 3D model.

Shipyards have moved towards more digital ways of working with many tablet computing applications replacing the paper drawing and bringing with them additional meta-data and the ability to digitally comment and mark up. Some of those tablet applications have even evolved to augmented reality applications, which present the designed model overlaid on the work space or ship.

Today, the augmented reality app runs on the user's headset in stereoscopic 3D, leaving the hands free to do the job at hand. Work instructions will be viewed as interactive animations, where the given task is superimposed on the actual work site, guiding the user step-by-step, and as the HDM has computer vision, progress measurement can automatically be fed back to project controls and management. Moreover if the worker needs assistance, a remote subject matter expert (SME) can be brought online to provide remote assistance over video chat.

Both, the worker and the SME have the digital ship at their fingertips to simulate and generally de-risk any major work.

4.4 Commissioning and Handover

Commissioning and handover are the phases where many things are inspected, surveyed and the crew are general prepared to take on their new vessel. These phases require many people on board, some with paper drawings and some with mobile computing devices. As the vessel is fully outfitted, it is often extremely difficult to survey and inspect items, which lie behind insulation or ceiling panels.

XR allows surveyors to walk around the vessel with a complete digital version available to them at any point. They can pull up systems or work packages and effectively see through walls to help them complete their job. Meanwhile, the crew are being trained in a fully immersive VR simulation of the vessel with the exact layout of the vessel available to them from a very early stage, which allows them to get familiar with the vessel. If needed, all systems can be recreated in the digital ship for mission training with fellow crew members or even crew members of other virtual ships.

4.5 Operation

Crew sizes have been diminishing steadily over the last 40 years or so, partially due to automation, but also as the work is seen as less attractive, due to security concerns and long stints away from family and friends. As this trend continues, we expect to see fully autonomous ships within the next 25 years with several iterations of semi-autonomous ships along the way [Oskar Levander Rolls Royce Marine, 2016]

XR could play a major role in making this transition happen. In the short term giving the crew more information in an easily accessible contextual way via a mixed reality HMD and access to remote SMEs – as described in the above scenarios – allows to keep vessels running even with reduced numbers. Longer term, as ship to shore communications improve, we could expect to see virtual

remote assistants helping crew members and ultimately, remote SMEs helping AI on board vessels via XR interfaces and light field camera technology.

5 Today's Challenges

Considering the obvious benefits of XR, one might ask, why isn't this technology being adopted at a faster rate? One plausible explanation is that change is difficult, and to change the paradigm from screen with mouse and keyboard to anything else is challenging for software developers, as well as users, especially in the shipbuilding industry. As a comparison, in the gaming industry, it has only taken one year to make the first games that have generated more than a million USD revenues.

For the more conservative engineering industries XR technology is still in its infancy, and has still to prove itself in industrial scenarios. Some say the HMDs are cumbersome to wear for more than a few minutes, and that they induce motion sickness, or that their resolution is not good enough to read text, or that they are isolating, or even simply hard to set up.

Looking at this optimistically, most of the above-mentioned restrictions or issues have or are soon to be solved, either as a next iteration of the hardware technology or through best practices. For example, affordable, high resolution OLED displays are already on the market at 4K resolutions for smartphones, and will inevitably make their way in to VR headsets as GPU power increases. Or as an example of best practices, industry has discovered all the triggers of motion sickness in VR and all but eliminated it via application of the user experience paradigms.

If we assume that consumer markets will drive the requisite improvements in hardware we are still left with challenges related to today's industrial processes. For example how to create accurate and usable 3D for XR and ensure it can be used seamlessly across many business processes, whilst retaining the integrity of the digital asset. There are several reasons that this is impossible today.

5.1 Model conversion

Today most AR and VR applications are created in a game development environment, such as the game engines Unity 3D or Unreal 4. These development suites allow anyone to import 3D models, images, audio and animations and to build interactive applications that can be deployed to multiple operating systems and XR devices.

Despite the flexibility and power of today's commercially available game engines, they are generally restricted to working with 3D content in standard-non CAD formats. This means that CAD data needs to be converted to a format that can be used in the game engine, effectively rendering it unintelligent and disconnecting it from the product model, or BIM for AEC.

5.2 Performance of large models

Although today's VR is usable for optimised games and simple collaborative applications, it requires great computing power and stringent optimization to be able to render the huge number of unique objects found in today's vessels and industrial 3D models. Mobile AR HMDs, such as the Microsoft HoloLens suffer from this effect to a far greater degree, due to their limited on-board computing power.

Developers today either need to decimate models to a great degree to ensure XR applications run at comfortable framerates (90fps for VR and 60fps for AR) or to simply work with smaller chunks of the model, and progressively load model data as it's needed. This simplification work, as well as the conversion mentioned above require significant services work, and the costs for a large industrial project can be very high.



Figure 3. Simplification of large models is essential to run with good framerates in today's game engines.

5.3 Retaining the integrity of the digital asset

Conversion and simplification of models is not only time-consuming and expensive, but it also disconnects any model used in XR from the master 3D model, usually in the CAD system that created it. In an age where the digital twin is a key reference for digitizing business processes, having the ability to master and maintain the 3D model is business critical.

XR applications appear set to massively increase the application of 3D across all phases of the lifecycle and if this is going to be the case, industry needs to find ways to bring high performing models into XR, whilst retaining the link to the master digital asset.

5.4 Turning bespoke development into configuration of the immersive digital asset

Today XR applications are highly bespoke and specific to the company or even project for which they have been developed. This means that for any given project there may be 100s of applications that need to be developed.[According to INDEX AR who developed over 60 AR apps for Newport News] These bespoke applications are usually developed by smaller software houses or consultancies and are challenging to maintain and get any kind of reuse from. Therefore a key challenge to realise scalability in AR and VR applications is enabling the reuse of the engineering/construction model.

6. A way forward

As mentioned in section 5.1, game engines are used to create most today's XR applications, and whilst many game engines are rolling out progressively performant graphical rendering techniques, they still struggle to render large industrial models at 90fps. Moreover, it is the conversion that is currently required to load models into them that disconnects the master 3D modelling environment from the XR application world. The logical way forward is for CAD vendors to optimise their rendering technology for the types of models they create and to integrate their rendering technology directly into commercial game engines, where CAD data from multiple vendors can be brought together, made interactive and deployed to XR devices.

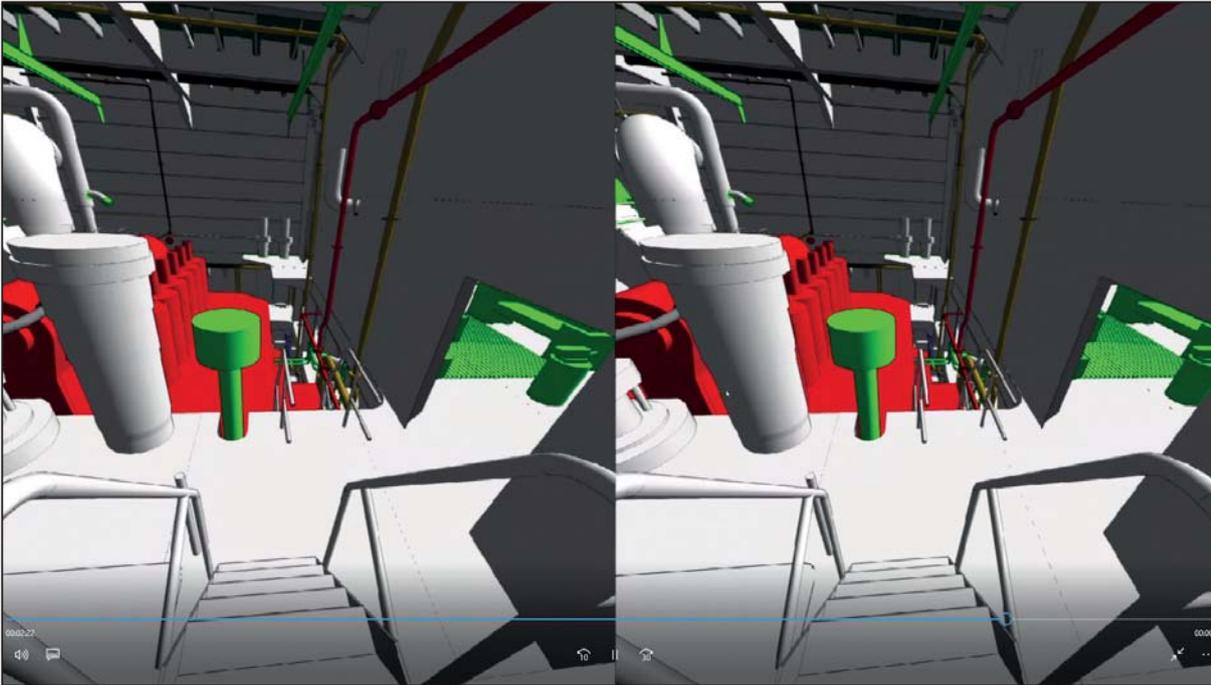


Figure 4. Inside a typical large ship model with 17 Million faces running at 90fps on Oculus Rift

7. Conclusion

Immersive computing in the form of extended reality has huge potential to improve productivity and engagement of human workers, effectively giving them super powers. However, today's production pipeline to prepare 3D models for use in XR is time-consuming, has performance restrictions and disconnects the digital asset from the XR application. Integration between game engines and CAD vendors' digital asset platforms will be key to the extended use of 3D models in other phases of the lifecycle after engineering and construction.

2D, 3D and Virtual Reality: Creating the Natural Way to Work

Mark Waldie, Denis Morais, Nick Danese

SSI

401-400 Garbally Rd.

V8T 5M3, Victoria, BC, CANADA

mark.waldie@SSI-Corporate.com

denis.morais@SSI-Corporate.com

ndar@ndar.com

Abstract: Working in an interactive 3D environment is more intuitive than interpreting 2D drawings, but the workflow to support 3D and VR must be cost-effective and natural to be adopted. Using case studies from shipyards around the globe as well as ongoing research, this paper will explain how the key is creating associative linkages supporting both legacy 2D workflows and technologies such as PLM and Virtual Reality.

1 Intro

Have you ever had to do something that seemed strange? Perhaps you had to learn a computer system where none of the buttons and commands were in the places you expected them to be? Perhaps you worked for a company with policies and procedures that seemed odd. Over time, you probably learned how to use the software and follow the rules but dealing with this unfamiliar complexity took effort. It took effort because you were being asked to do something that was unnatural. In this respect, shipbuilding is no different from any other aspect of life. Things that are unnatural are more difficult. Therefore, if a business wishes to be more efficient and effective, it should strive to make things more intuitive. Here is where technology can help, particularly technology involving 3D.

Traditionally, 2D drawings were the main methods for communication in shipbuilding. And still today, they are the main methods of communication with workshops, class societies and in many other components of shipbuilding organizations. There is a wealth of information that can be transmitted in these drawings if people have the expertise to understand all the sophisticated marine-specific symbology. But note, this is a learned skill; an interactive 3D visualization could communicate the same information more efficiently and effectively to people with less specialized knowledge.

As the shipbuilding workforce ages and retires, the need to cost-effectively train new employees is becoming particularly acute. But even within an organization that believes 2D is sufficient, there are many scenarios where current processes could be improved. 3D representations open up new ways of doing things that many organizations had never considered before. Using examples from SSI's clients who utilize SSI's Autodesk based ShipConstructor CAD/CAM software and SSI's EnterprisePlatform for leveraging engineering information, this paper will talk about how the use of 3D has transformed various ship design and ship building companies and how more improvements can be derived from 3D.

2 T.R.I.C.K.S. To Naturally Adopting 3D

To successfully implement 3D, there are several things to note. To help remember them, we can use the acronym: T.R.I.C.K.S.

- T **T**wo Dimensional Drawings Still Required
- R Different **R**epresentations of Data are Needed
- I **I**nformation Must Go with the Picture
- C **C**onnection to Underlying Product Model Needed
- K **K**eeping Up to Date is Necessary
- S **S**implicity (and Scalability) is a Virtue

3 T – Two Dimensional Drawings Still Required

After promoting the usage of 3D, it may seem strange to remind everyone of why 2D is still needed. Class Societies and workshops require drawings in 2D and they have difficulty reading a wide variety of different computer formats for 3D models. Also, a 2D drawing with appropriate symbols is a historical and practical standard, clear to everyone in the industry. In sophisticated shipbuilding markets such as Japan for example, there is great reluctance to discard that benefit.

Therefore, the solution is to do both 2D and 3D but to not waste time by constantly recreating work. Instead, model in 3D and let the CAD software generate the 2D AutoCAD DWGs using the desired standard format. This is called marine drafting. A sophisticated software solution should let you do this with just a few clicks. Moreover, the single 3D model is the source of all the 2D drawings and of all the corresponding information stream to the entire enterprise.

Inamasu Shipyard in Japan has put this method into action. The marine drafting method ensures that the 2D drawings accurately reflect the 3D model that will continue on for detail design and engineering. It also allows the model (complete with outfitting) to be visualized very early in the process and entirely in 3D. This is advantageous because in 3D it is easier to identify and correct costly errors in design before they get to the shop floor. Knowledge and expertise from experienced designers is also captured in the form of rules and templates which are used to automatically generate 2D drawings from the 3D model.

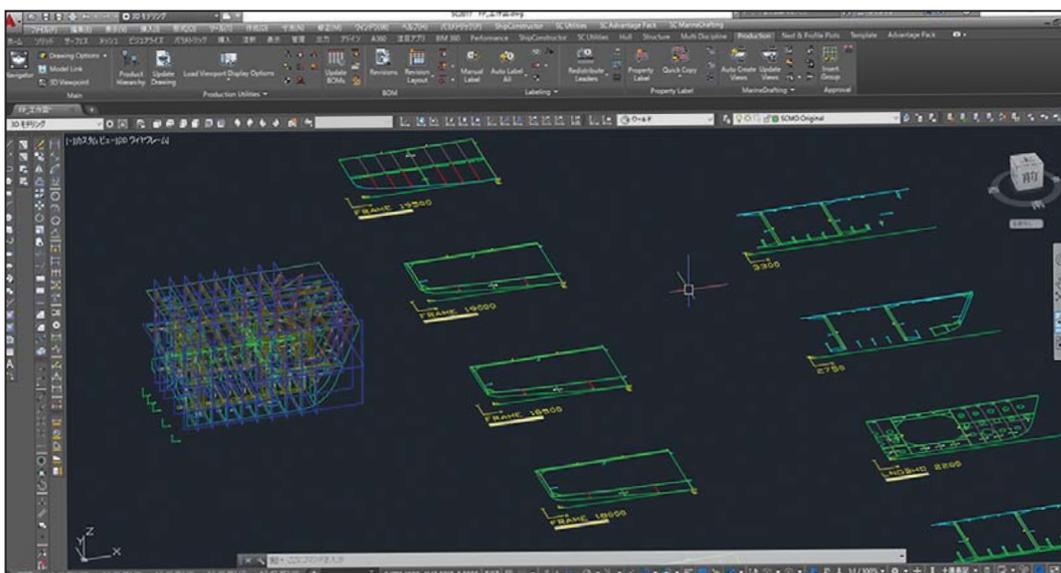


Figure 1: From 3D modelling data to 2D Drawings at Inamasu Shipyard, Japan

4 R – Different Representations of Data are Needed

Everyone looking at design and engineering information needs it in a different context. A planner, a purchaser and a production worker all require different representations of the same data. They use different computer programs and production machines so things need to be in the right format for them to use the information. At the heart of everything should be a complete virtual product model of the ship which contains information from all relevant disciplines, including hull/structure design and engineering, outfitting, assembly sequencing, and production.

If you are using a sophisticated software solution, a 3D view in Autodesk Navisworks is a representation of one part of the model, just as a 2D AutoCAD drawing is. An Excel report is another representation. Everything should be a view (key concept!) of the same underlying data, not a manual recreation. All people, processes, programs and production machines should get the information they need and only the amount they need, in the appropriate format.

Below is an example of a 3D representation of data being used at Estaleiro Atlântico Sul (EAS), the largest shipyard in the Southern Hemisphere. EAS works on offshore oil platforms as well as tankers so they are required to adopt rigorous procedures for checking the status of welds (Modeled, Welded, Verification Pass, Verification Failed etc.). Sometimes they generate a report from the underlying product model that shows columns of text. Other times, they use a 3D visual style which shows different weld statuses by color, i.e. a different representation of the same data.

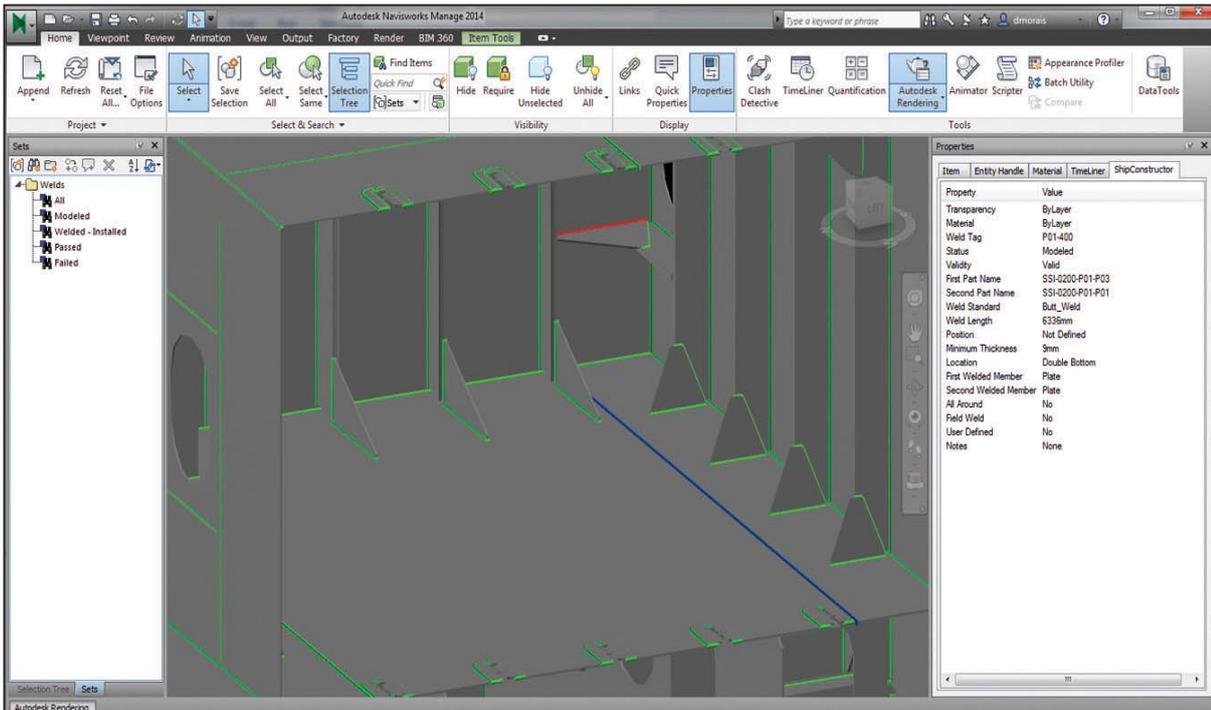


Figure 2: Weld Status Report using 3D graphics instead of text columns.
Weld Status is shown using colors at Estaleiro Atlântico Sul

5 I – Information must go with the picture

As we are talking about 3D, sometimes people can be dazzled by pretty pictures. This is naive. To be most useful, the underlying attribute information from the product model must be associated and readily available from the visuals. Note, when we talk about the product model, we are not just talking about the 3D model per-se. We also mean that the "model" stored within a single database includes the complete 3D model, attribute information for each part and assembly, the assembly sequence for the project, the industry-specific rules, standards used in the product model's composition and the associative relationships between all standards, geometry, parts and assemblies within the model, etc. If we use analogous terminology from the construction industry where they talk about a BIM (Building Information Model), what we are talking about here is a MIM or Marine Information Model.

When interacting with a view of the MIM, one accesses the associated information, not just looks at a picture. To work with ERP, MRP, PLM and other powerful programs for increasing the efficiency of business, all this information is required. And if you link even more data and systems to achieve what is called

a “digital twin” of a physical ship, you can derive even more benefit in regards to design, testing, simulation and analysis throughout a vessel’s lifecycle. But in order to perform these analyses, you absolutely need to have all the data. You need more than just pretty pictures.



Figure 3: A Marine Information Model (MIM) stores vast amount of data in a single database including the 3D model of the vessel

6 C – Connection to Underlying Product Model

All the data is connected back to the underlying model; it is associatively linked. By contrast, if you have to recreate information just to transfer data from one program to another, there is inefficiency and an increased chance for error. As the underlying product model changes, associated drawings and information in other systems are updated automatically.

So much time is typically wasted and so many errors creep in if there are no linkages. Below is an example of a company (Bollinger Shipyards in the USA) that has increased efficiency by connecting its Wolf Robotics Automated Welding Machines to the underlying engineering data in the Marine Information Model.

At first glance, people outside of shipbuilding do not realize the significance of this because robotic welding has been done for years in other industries. How-

ever, in other industries they are using robotic welding on an assembly line in situations that repeat the same automatic welding path for many parts. Shipbuilding is not like that; virtually every single panel welded is unique. That means that the robot cannot just be programmed once and have it repeat itself; you need to support very complex scenarios of producing different welds, using different paths, generating totally different physical structures. To do this efficiently, varying instructions flow seamlessly from the underlying Marine Information Model to the robots, which is what happens at Bollinger Shipyard.



Figure 4: Computer Aided Robotic Welding (CAR-W) demonstrates value of connection to underlying product model at Bollinger Shipyards

7 K – K – Keeping Up to Date is Necessary

The connection to an underlying product model is particularly important because in shipbuilding, more so than in perhaps any other manufacturing scenario, change is constant. Unfortunately, most software systems are overwhelmed by this. It shocks outside observers to learn that in shipbuilding, production work continuously overlaps with detailed design and production engineering and that there are continual engineering change orders. Keeping up to date with these changes and making sure that there is a good system for approving and disseminating the correct information is crucial throughout the entire process. For example, the CNC information has to be in sync with nest information for CNC cutting. You need a “Synchronized Shipyard”.

Here is where a shipbuilding PLM system is helpful. It should be flexible enough to handle change rapidly and effectively, and be tightly integrated with a CAD/CAM system.

An example of an organization that has implemented this kind of solution is Ingalls Shipyard, a major builder of US Naval Warships. They are able to visualize engineering data in 3D and within the same interface, Ingalls edits and plans with a PLM system. Ingalls configures the system to identify visually how the design has changed over time. Planners have exactly the information they need.

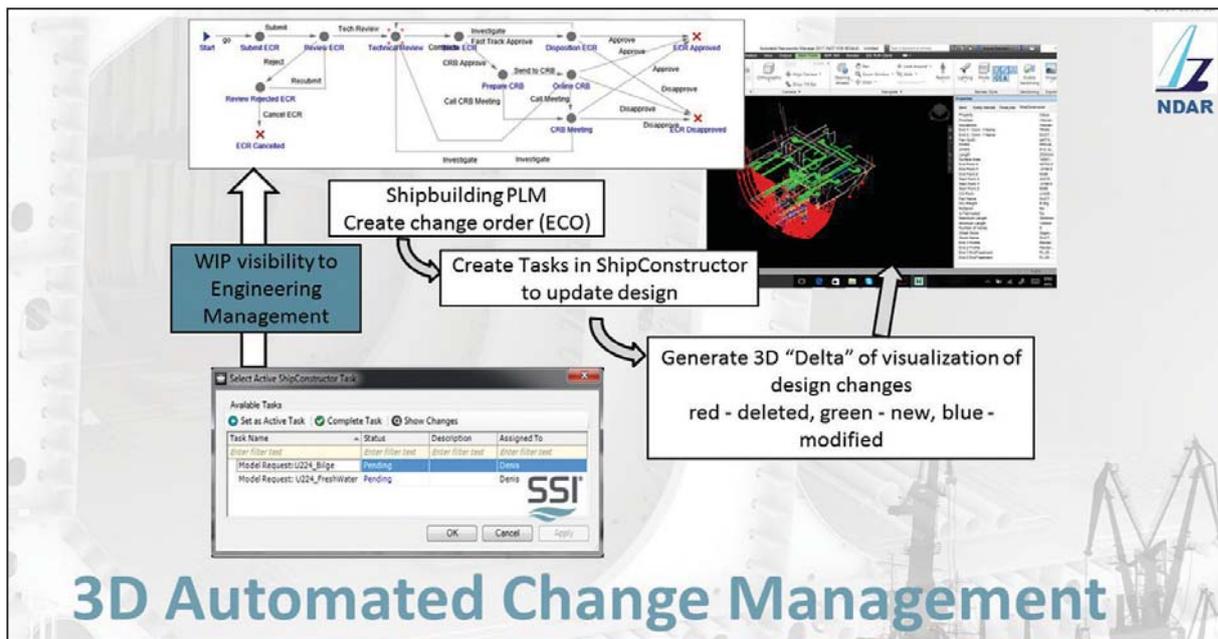


Figure 5: Change Management using Aras PLM system integrated with 3D CAD from SSI's ShipConstructor at Ingalls Shipyard, a major US Naval shipbuilder

8 S – Simplicity (and Scalability) is a Virtue

The key to adopting 3D technology and techniques is to keep things simple and natural. Part of the simplicity involves making sure that when adopting anything new, simple baby steps forward are taken. Systems must be scalable. One must be able to implement new computer systems and technology bit by bit and derive a clear return on investment at each small step of the way.

And getting back to the original point about being natural, simplicity also refers to the fact that new ways of doing things should be easy, not complicated.

This is the approach that especially should be used with regards to emerging technologies such as Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR). Virtual Reality lets you do things that were difficult until now, such as ergonomic and ingress/egress analysis without the need for physical prototypes. It is well known that one of the big difficulties in shipbuilding is transferring data from the CAD model into Virtual Reality, also due to the fact that the product model is always changing. Conversion to VR should be a relatively seamless process. Ideally it should only take a few clicks and a few minutes to set up. Furthermore, as stated in previous sections, a connection back to the underlying model is needed to easily access its valuable attribute information, and also have any customizations done in VR software (e.g. making door handles turn in the VR environment) persist if the underlying CAD model changes.

But before even getting to the stage of integrating CAD with a more costly and powerful VR system such as software by Virtualis, it is recommended to “get your feet wet” by experimenting with an inexpensive integration solution such as Oculus Rift and the Unity Gaming Engine. This is a simple, scalable approach.



Figure 6: Integration of ShipConstructor and VR via Oculus Rift and Unity Gaming Engine is an inexpensive and simple way to experiment with Virtual Reality

9 Conclusion

Working in 3D is a natural and effective way to work. There are several things to keep in mind when implementing 3D technology. Support for 2D is still necessary. Data has to be in the right representation. Information must go with the pictures. There must be a connection to the product model. Keeping up to date is vital in the ever-changing world of ship construction and all along the way, effective and productive simple baby steps move the company forward and add value immediately. Those are the T.R.I.C.K.S to implementing 2D, 3D and VR systems in a natural and powerful way.

Modellbasierte PLM-Architektur für den Schiffbau – Beispiele aus Forschung und Anwendung

Matthias Roth

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

Abstract: Die gegenwärtigen Entwicklungen in der Industrie schließen die immer stärkere Vernetzung von vormals getrennten Gewerken wie Software, Elektronik und Maschinenbau ein. Die Produkte werden komplexer und in ihrer Definition vielschichtiger. Dies ist auch im Schiffbau der Fall. Als logische Konsequenz wird oft das Schlagwort des „Model Based Design“, des modellbasierten Entwurfsansatzes, genannt. Weiter sind Model Based Engineering (MBe), -Manufacturing (MBm) und -Sustainment (MBs) – also ein modellbasierter Produktlebenszyklus über die Entwurfsstadien hinweg in die Fertigung und den Betrieb des Produktes – Gegenstand der aktuellen Betrachtungen. In allen Aspekten wird somit das Produkt in den Vordergrund gestellt.

Als Summe greift der hier vorgestellte Ansatz diese Aspekte auf und vereint sie zu einem „Model Based Enterprise“ (MBE), bei dem die Produktentwicklungsprozesse stärker auf das Modell ausgerichtet werden. Sogenannte „Maturity Levels“, Reifegrade, erlauben es den Firmen, eine Selbsteinschätzung vorzunehmen und auf dieser Basis Potentiale zur Weiterentwicklung zu erkennen. Auf technischer Ebene gilt es dann, mit einer zentralen Datenhaltung effektive Prozesse zu etablieren, die nahtlose Übergänge ohne Informationsverluste ermöglichen.

Bewährte Methoden aus beispielsweise Luftfahrt- und Automobilindustrie können im Schiffbau in Entwurf, Bau, Betrieb und Rückbau in adaptierter Form angewandt werden, um gegenwärtigen und kommenden Herausforderungen zu begegnen.

Kurze Beispiele aus Forschung und Anwendung vertiefen den genannten Ansatz und machen ihn so greifbarer.

1 Einleitung

Ansätze des Model Based Engineering (MBe), -Manufacturing (MBm), -Sustainability (MBs) sowie Model Based Systems Engineering (MBSE) sind Ausdruck der Weiterentwicklung der Methoden des Produktentwicklungsprozesses. Das sogenannte „Model Based Enterprise“ (MBE) als Zusammenführung dieser Ansätze wird stärker im Verlauf des Produktlebenszyklus und vor allem auch im unternehmerischen Kontext gesehen. Hierbei werden alle Ebenen im Unternehmen in ihrer Interaktion mit dem Produktmodell berücksichtigt. Diese schließt insbesondere strategische und operative Ebenen mit ein.

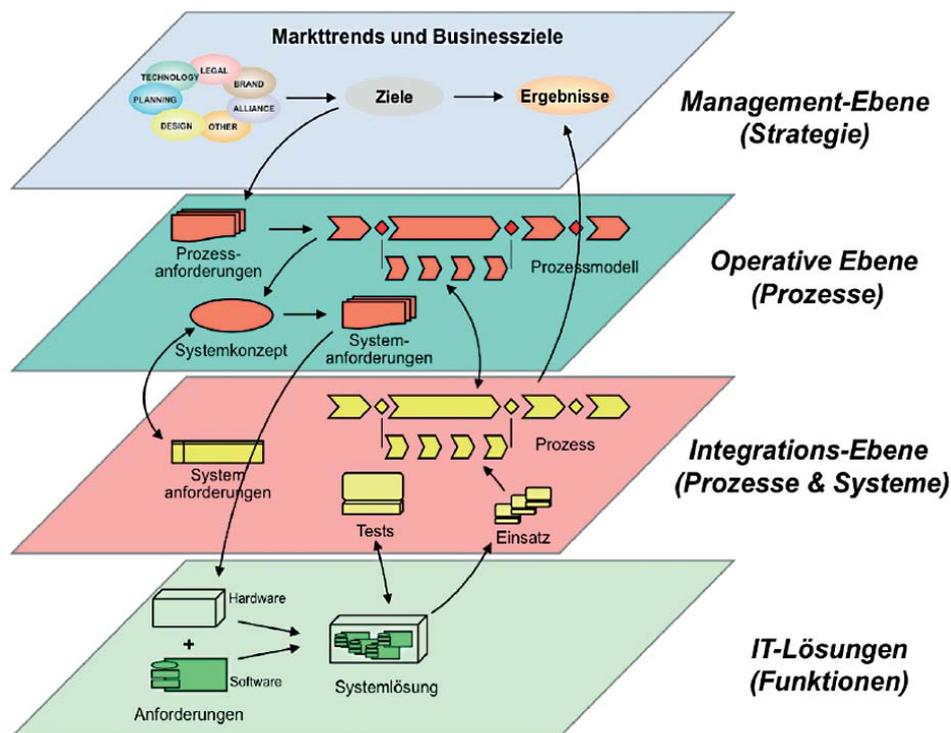


Abbildung 1: Übertrag von Management-Strategien auf operative Prozesse [EO07]

Bestandteil des MBE ist unter anderem das Model Based System Engineering (MBSE), das durch die gerade auch im Schiffbau notwendige Gewerkeintegration von Software, Elektronik, Mechatronik und klassischem Maschinenbau die Vernetzung des Produktmodells mit den produktiven Systemen fördert. Hier gilt ebenfalls die Zentralisierung auf eine Datenhaltung als „Mantra“ zur effektiven Integration der Systeme. Die heterogenen Datenquellen werden dabei über Verknüpfungen für die angebundenen Prozesse zugänglich gemacht.

Auf der Zeitschiene gesehen ist die Anreicherung des Produktmodells mit Informationen aus den verschiedenen Prozessen als einem „Faden“ folgender Prozess zu sehen. Dies ist der „Digital Thread“, der „Digitale Faden“, der vom ersten Konzept bis zum Recycling des Produktes verfolgt wird. Die nahtlose Unterstützung der angeschlossenen Prozesse ist das Ziel – auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Bei all diesen Systemen entstehen Daten, die entweder systemspezifisch oder zentralisiert, oder als Kombination von beidem gehalten werden können.

Zur Unterstützung der Prozesse ist es nun sinnvoll, die Daten in möglichst einem einzigen, von einem PLM-System verwalteten Produktmodell zu zentralisieren.

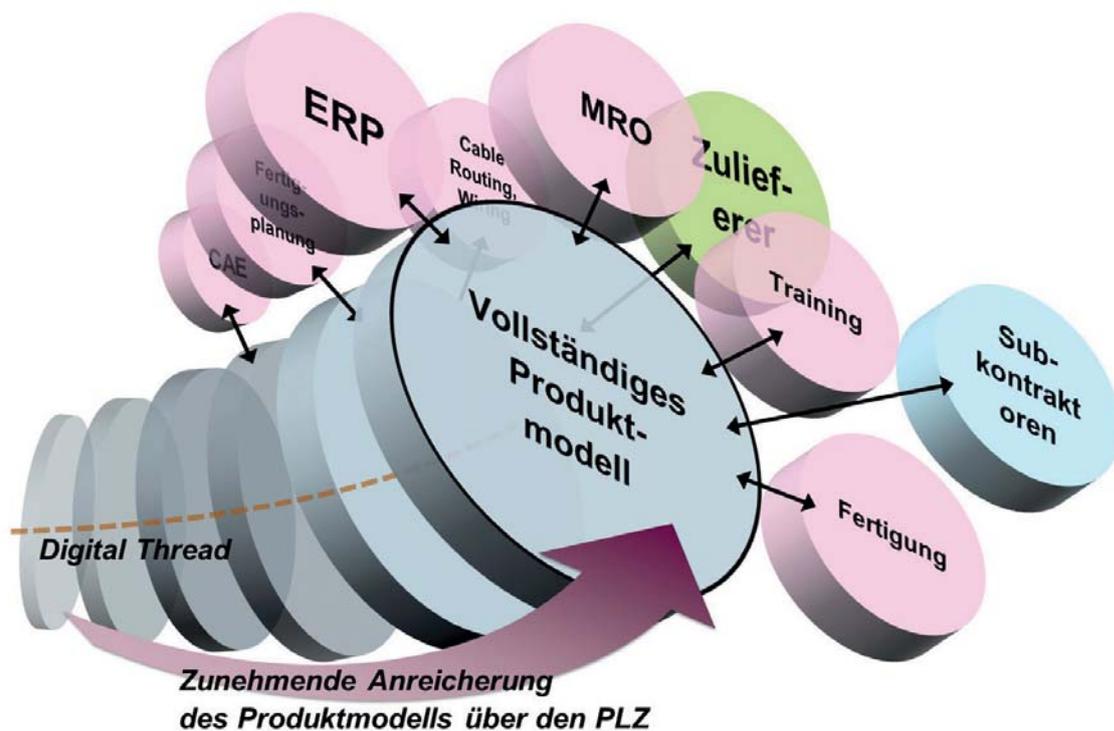


Abbildung 2: Anreicherung des Modells, Darstellung des „Digital Thread“ über den Produktlebenszyklus hinweg. Angebundene Prozesse und Systeme tragen zur Anreicherung des einen Produktmodells bei und profitieren davon.

Über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg gedacht dehnt sich das Konzept des MBE aus: In den der Konstruktion folgenden Prozessen ist es wichtig, dieses Produktmodell nachzuführen. Dieses, auch „Digital Twin“ genannte, einzige Produktmodell ermöglicht die Bereitstellung der richtigen Information für viele Folgeprozesse.

Ein (kontrollierter) Produktmodellzugriff über Unternehmensgrenzen hinweg ist ein weiterer entscheidender Aspekt. Durch die Zentralisierung des Produktmodells werden alle Profiteure der Daten optimal erreicht – auch spätere Wartungsaufgaben werden günstiger. Auch wenn die Umgebung wechselt, d.h. vom Unternehmen zum Subunternehmer oder zum Kunden, bleibt das Modell in der Mitte der Prozesse. Die Modelle können auch gezielt um Informationen „abgereichert“ werden [GL15], einerseits, um überflüssige Informationen auszusparen, andererseits, um Betriebsgeheimnisse zu wahren. So können Zulieferer ihre Produkte leichter auf das konkrete Modell anpassen. Auch die Schiffseigner können vom modellbasierten Ansatz profitieren.

Gemeinsam mit dem Schlagwort „Maritim 4.0“ bezeichnet „MBE“ als große Klammer somit auch die fortschreitende Digitalisierung einer ganzen Branche.

2 Gegenwärtige Umsetzungen des MBE auf konzeptioneller Ebene

Auf konzeptioneller Ebene werden Formate und Softwaresysteme sowie Prozessansätze favorisiert, die unter dem Gesichtspunkt des MBE als effektive Lösungsansätze oder Lösungen gelten. Darüber hinaus haben Begriffsdefinitionen geholfen, Klarheiten zu schaffen.

Das „Technical Data Package“ wird nach [MI13] als technische Beschreibung eines Produktes gesehen – angepasst auf alle Prozesse, die Produktmodelldaten benötigen, beispielsweise Produktion, Logistik, Training sowie Dokumentation und assoziierte Dokumente wie Normen und Spezifikationen.

Essentiell ist hierbei auch die Integration von Anforderungen über Systemgrenzen hinweg. Durch die frühe, systematisierte Erfassung von Anforderungen und Verknüpfungen mit Funktionalitäten des Produktmodells – seien sie in der Me-

chanik, der Elektronik oder auf Softwareseite verhaftet – lassen sich die Anforderungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg verfolgen und sicherstellen. Tests können gegen die Anforderungen geprüft werden. Dazu gehören freilich auch regulatorische Anforderungen.

Für die Kommunikation zwischen den Softwaresystemen im Unternehmen werden sogenannte SOA-Schnittstellen (Service Oriented Architecture), mit REST-Ausprägung (Residential State Transfer) bevorzugt. Durch die Standardisierung auf möglichst niedrigem Niveau wird ermöglicht, einen „Best-of-Breed“-Ansatz bei gleichzeitig großer Austauschbarkeit der Systeme verfolgen zu können. Der Ansatz der monolithischen Systeme, die alles bedienen, ist nicht immer der beste Lösungsansatz, um die Produktentwicklung effizient zu unterstützen.

Formate zur Repräsentation von Modelldaten können leichtgewichtige 3D-Formate mit Feldern für Metadaten sein, so beispielsweise JT und STEP AP 242 in Kombination.

Insgesamt wird so die disziplinübergreifende Zusammenarbeit zwischen Gewerken wie beispielsweise Stahl, Verrohrung, Klima, Elektrik und Ausrüstung erleichtert.

3 Reifegrade des MBE („Maturity Level“)

Die Reifegrade des MBE werden von dem International Council on Systems Engineering, dem National Institute of Standards & Testing (USA) [NI13] und anderen wie AIAG und SASIG [AI15] wie folgt definiert:

- Stufe 0: Modellzentrierte Zeichnungen für Entwurf und Fertigung, hauptsächliche Definition über 2D-Zeichnungen
- Stufe 1: Modellbasierte Fertigung, hauptsächliche Definition über 2D-Zeichnungen und neutrale CAD-Modelle
- Stufe 2: Native CAD-basierte Fertigung, hauptsächliche Produktdefinition über 2D-Zeichnung und native CAD-Modelle

Ab Stufe 3 dominieren die 3D-Modelldaten:

- Stufe 3: Modellbasierte Definitionen, hauptsächliche Produktdefinition über 3D-annotierte Modelle und/oder leichtgewichtige Viewingformate
- Stufe 4: Modellbasierte Definitionen mit Datenmanagement, hauptsächliche Produktdefinition über 3D-annotierte Modelle und/oder leichtgewichtige Viewingformate über PDM-Systeme
- Stufe 5: Modellbasierte Definitionen mit automatisierten TDP; hauptsächliche Produktdefinition: TDP und Digitale Produktdefinitions Pakete
- Stufe 6: Modellbasierte Definitionen mit automatisierten TDP und On-Demand Unternehmenszugriffsmöglichkeiten, hauptsächliche Definition über TDP und Netzanbindung (beispielsweise externer Zulieferer)

Durch die systematisierte Selbsteinstufung können Potentiale und Handlungsfelder erkannt werden. Es können ferner Verantwortliche in Unternehmen leichter den Bedarf nach Weiterentwicklungen im PLM-Bereich kommunizieren.

4 Effektivierung von Prozessübergängen

Im zeitlichen Verlauf des Produktlebenszyklus treten Übergabestellen zwischen Formaten, Systemen und Prozessen auf – mitunter fallen diese zusammen. An diesen Übergabepunkten sinkt der Vollständigkeitsgrad des Modells schlagartig. Zur Erreichung derselben Vollständigkeit des Produktmodells, beispielsweise verlorene Attribute oder Fertigungsinformationen, ist ein Zeitaufwand notwendig.

Um Prozesse von der Modellrepräsentation aus, wie beispielsweise dem TDP, möglichst effektiv bedienen zu können, ist eine Produktmodellrepräsentation vonnöten, die konsistent und umfassend ist, gleichermaßen jedoch mit einem Minimum an Konvertierungsschritten auskommt. Ziel ist es daher, Anforderungen auch über Übergabestellen hinweg nahtlos zu erfüllen. Dabei werden pro-

zessspezifisch die Anforderungen der Ist-Prozessschritte erfasst. Sie werden mit den Fähigkeiten der gegenwärtig genutzten Formate sowie den Anforderungen aus den erarbeiteten Soll-Prozessschritten abgeglichen.

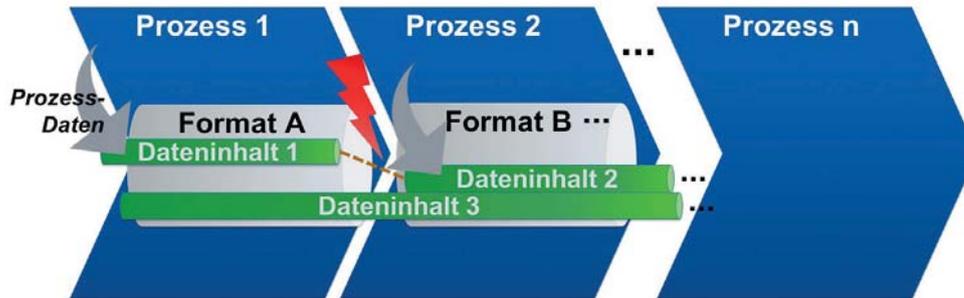


Abbildung 3: Übergänge zwischen Prozessen und gleichzeitig Formaten mit verschiedenen Eigenschaften bringen Informationsverluste mit sich [Ro16]

Durch matrizenweise Aufsummierung der priorisierten Anforderungen lassen sich Abschätzungen treffen, inwieweit Formate geeignet sind, um dem betrachteten Gesamtprozess gerecht zu werden.

Diese sind in Abbildung 6 als „Zacken“ im Diagramm anhand eines Beispielprozesses zu sehen. Diese „Design Drops“ fallen größer aus, wenn die Brüche an Information größere sind, was durch ungeeignete Modellrepräsentationen (Format oder System) gegeben sein kann.

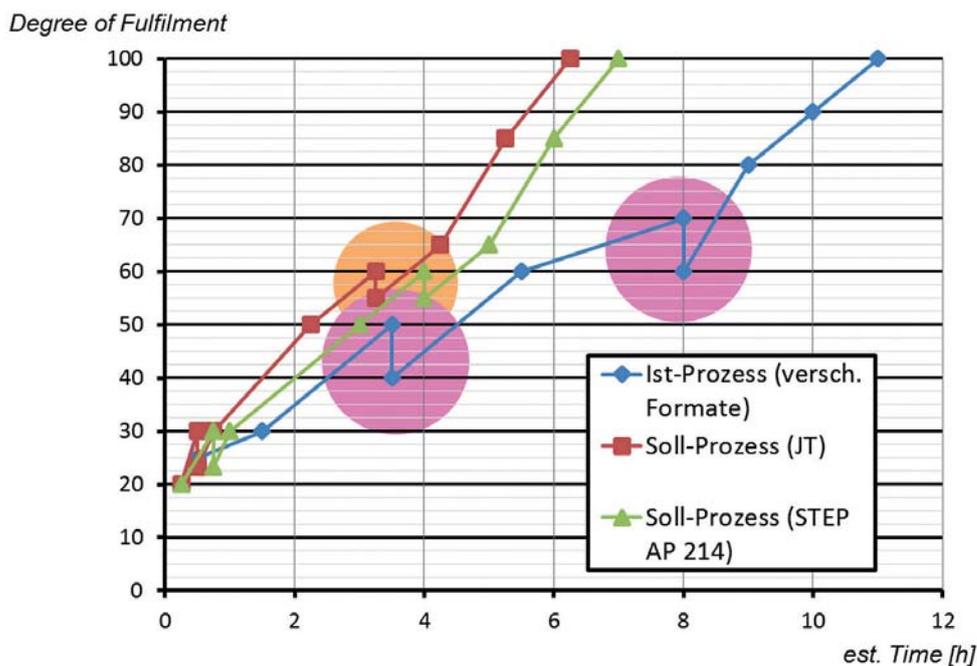


Abbildung 4: Zeit zur Erreichung eines vollständigen Modells bei verschiedenen Prozessen und korrespondierenden Datenformate [Ro16]

Durch die gesteigerte Verfügbarkeit von Daten werden die an Prozessübergängen und „Prozessübergabestellen“ typischerweise auftretenden Verluste von Informationen und deren aufwändige Nacharbeit verringert.

Durch die konsequente Umsetzung des Model Based Enterprise wird das Produktmodell als zentrales Objekt in einer Repräsentation vorgehalten. Die erwähnten Prozessübergänge werden nicht zu potentiellen Übergängen mit Informationsverlusten, sondern durch eine nahtlose Informationsbereitstellung wesentlich verbessert.

Insbesondere iterative Prozesse, die gerade in Branchen komplexer Einzelfertigung wie dem Schiffbau auftreten, können deutlich effektiver gestaltet werden. Die Zeitersparnisse vervielfachen sich entsprechend der Anzahl der Prozessschleifen.

Als Beispiel seien hier die Fertigungsprozesse des Schiffbaus genannt, die oftmals der Herausforderung vieler Änderungen im Werk begegnen – nahtlose Informationsflüsse zwischen der Werksebene einer Werft und der Konstruktion oder zwischen Unterauftragnehmern und Auftraggebern sind somit auch ein Treiber des modellbasierten Ansatzes.

4 Umsetzungen des MBE

Anwendungen einer modellbasierten Unternehmensausrichtung beinhalten auch eine vollumfassende Nutzung des Produktmodells bis zur Fertigung. Exemplarisch für die nahtlose Integration lässt sich eine im Verbundforschungsprojekt ARVIDA realisierte Lösung anführen. Hier wurde mit der nahtlosen Durchgängigkeit der Modelldaten von CAD zur Fertigung über die „zentrale Drehscheibe“ des Produktmodells gezeigt, wie auf eine effektive und leicht aktualisierbare Weise die Informationen bis in die Fertigung gebracht werden können. Im vorliegenden Beispiel wurden JT-Modelle über eine vom Fraunhofer IGD mit Unterstützung von Siemens programmierte neutralen REST-Schnittstelle an ein Laserprojektionssystem weitergegeben, das die PMI (Fertigungsinformationen) extrahiert und werksgerecht mit Laserprojektionen darstellte. Ein Trackingsystem des Fraunhofer IGD ermöglichte die markerlose Verfolgung des Werkstücks selbst unter schwierigen Beleuchtungsbedingungen.

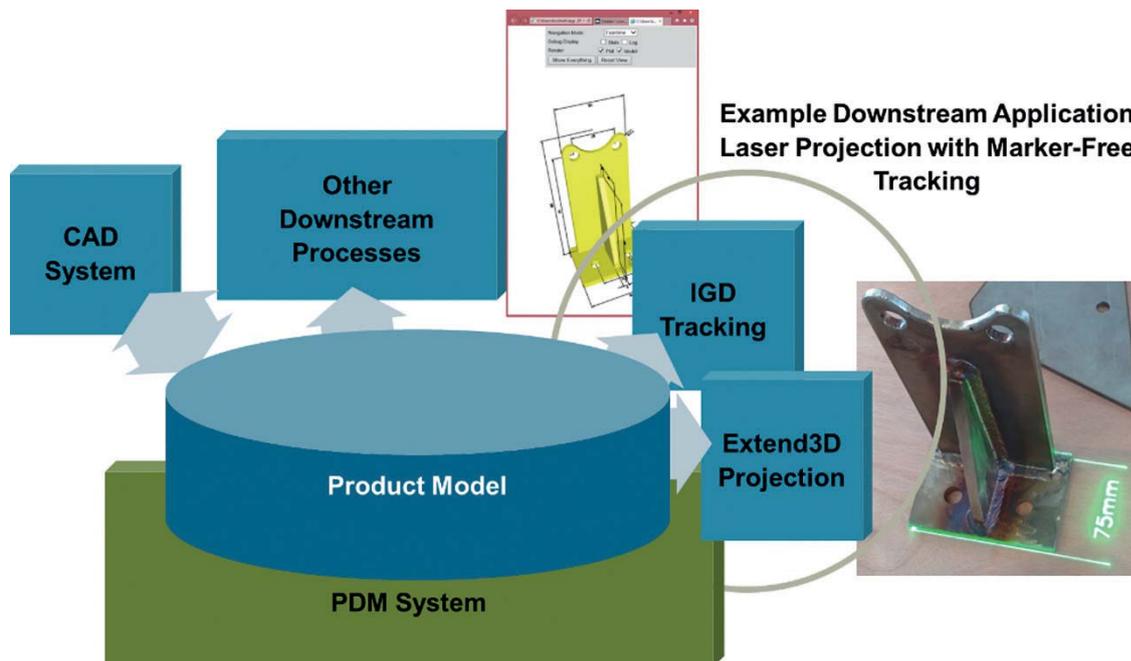


Abbildung 5: Zentrale Datenhaltung und Beispiele angebundener Systeme und Prozesse. Dargestellt ist ein Rohrhalter, der durch laserprojizierte PMI-Informationen ergänzt und ohne Papierpläne gefertigt werden konnte.

So war dem Werker eine Montage des Werkstücks direkt mit den Informationen aus dem CAD ohne Papierpläne möglich. Damit sind folgende Kennzeichen des MBE Level 6 erfüllt:

- Automatisierte Verfügbarkeit der Daten
- Zentrale Datenhaltung eines 3D-Modells
- Konnektivität der Anwendung über Netzverbindungen; Ort spielt keine Rolle
- Auf das Produktmodell zentrierter Prozesse

Die Vorteile der gewählten Umsetzung ohne Medienbrüche am zentralisierten Produktmodell liegen auf der Hand. Eventuelle Rückmeldungen von Werksebene durch Annotationen (Marker) sind ebenfalls über das neutrale, offene Format JT integrierbar. Auch hiermit können iterative Fertigungsprozesse im Schiffbau effektiv unterstützt werden.

Ein anderes Beispiel des MBE im Bereich der Zuliefererintegration wird in [AN14] genannt. Über ein 3D-PDF werden Produktmodellldaten zwischen einem Hersteller der Luftfahrtindustrie mit dessen Zulieferer ausgetauscht, der ein anderes CAD-System verwendet. Das PDF wird als „Technical Data Package“ bezeichnet, das alle relevanten Produktmodellldaten enthält.

3D MBE Examples: Aero-Prime to Supplier (3D MBE Level 6)

3D MBD Pixel Perfect Data Transformations -
What you see CAD is what you get in 3D PDF MBE is what you get in SolidWorks

1) In Native NX

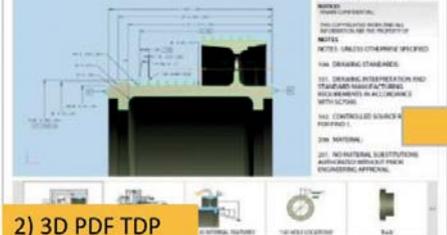


Back to Prime

4) 3D PDF Tooling

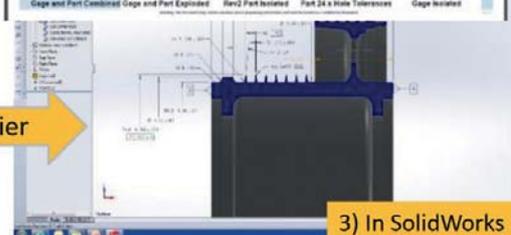


2) 3D PDF TDP



To Supplier

3) In SolidWorks




Geometric | People Building Partnerships
22


Abbildung 6: Beispiel der Anwendung des MBE-Konzeptes:
Austausch eines Technical Data Package mit dem Zulieferer [AN14]

Auch in Bezug auf das Anforderungsmanagement als Basis des modellbasierten Entwickelns – damit ein Bestandteil des Modellbasierten Unternehmens (Model Based Enterprise) – finden sich Umsetzungen. Gegenwärtige Software spiegelt dies unter dem Schlagwort MBSE (Model Based Systems Engineering) [Ha13] oder SDPD (Systems Driven Product Development) wider [Si11].

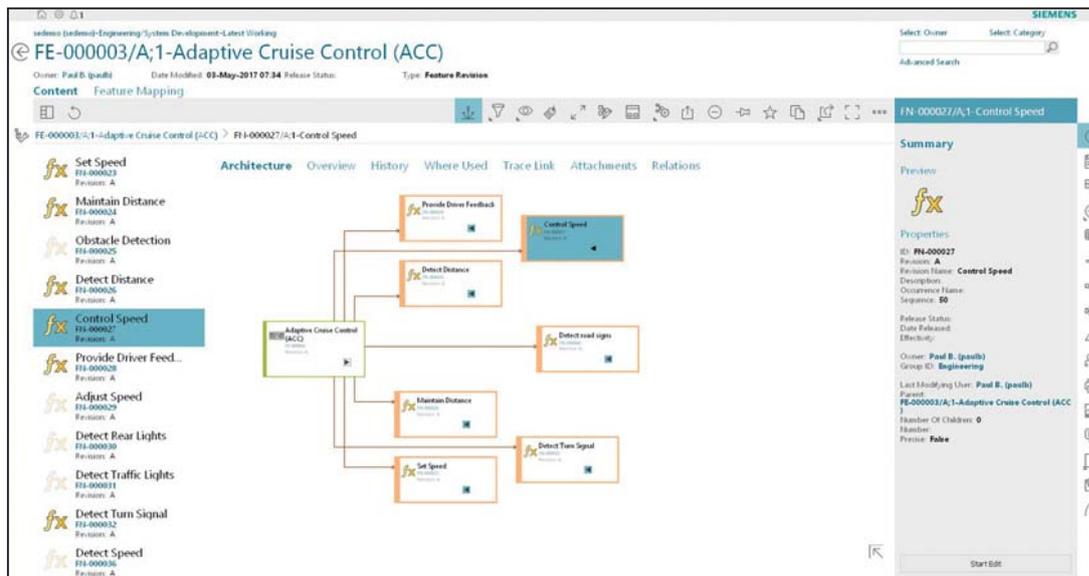


Abbildung 7: Funktionelle Anforderungen eines Tempomats, strukturiert, Screenshot aus Siemens Active Workspace

5 Fazit

Der Ansatz des „Model Based Enterprise“ ist für den Schiffbau mit der Breite an involvierten Gewerken und durch die umfassende Darstellung des Produktlebenszyklus mit hoher Fertigungstiefe besonders gut anwendbar. Vorleistungen der Luftfahrtindustrie können in vielen Punkten adaptiert werden [AI15].

Die Softwareindustrie und die anwendende Industrie müssen die Einzelaspekte gemeinsam kritisch in Augenschein nehmen, um alle Vorteile des MBE auszuschöpfen. Dazu gehört auch die realistische Selbsteinstufung in die verschiedenen Reifegrade und das Erarbeiten der notwendigen Schritte zum Erreichen dieser. In vielen Fällen kann die kritische Betrachtung und Bewertung der Prozesse in Zusammenhang mit Systemen und Datenformaten sowie deren jeweilige Anpassung zum Ziel beitragen. Dabei ist der umfassende Blick von der IT- zur Management-Ebene essentiell, damit Teilebenen nicht außer Acht gelassen werden. Auch ein domänenübergreifendes Denken zwischen den Gewerken ist Voraussetzung.

Als Anwendungen wurden Beispiele gezeigt, die Aspekte des Model Based Engineering in sich vereinen und dadurch praktischen Mehrwert generieren – ganz besonders durch Optimierung der Prozesse auf eine bestmögliche Verwendung der Systeme.

Literatur

- [AN14] ANARK: A Roadmap for successfully adopting Model-Based Enterprise, 2014, Boulder/CO (US), http://geometricglobal.com/wp-content/uploads/2014/03/A_Roadmap_for_Successful_Adoptio_of_Model-Based-Enterprise.pdf, Abgerufen 2. Mai 2017.
- [AI15] Automotive Industry Action Group (AIAG): The Transition to Model Based Enterprise, 2015, http://admin.aiag.org/docs/uploads/events/presentations/S16QUALITY/STUDY_final.pdf, Abgerufen 18.4.2017.
- [EO07] Eigner, M.; Ovtcharova, J.: Produktentsehung im 21. Jahrhundert: Anforderungen an die IT für die Konstruktion der Zukunft. In: Digital Engineering Magazin, WIN-Verlag, Vaterstetten, 2007.
- [GL15] Gillikin, D.L.; Langmead, J.R.: Model Based Enterprise Architecture for Shipbuilding, ICCAS Bremen, 2015.
- [Ha13] Hause, M.: How to Fail at MBSE, INCOSE Texas Gulf Coast Systems Engineering Conference, 2013. http://www.incose.org/docs/default-source/texas-gulf-coast/m_hause_how_to_fail_at_mbse.pdf, Abgerufen 14.6.2017.
- [NI13] National Institute of Standards and Technology (US): NIST Technical Note 1820 Model-Based Enterprise Summit Report, Gaithersburg/Maryland (US), 2013. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/technicalnotes/NIST.TN.1820.pdf>, Abgerufen 28.04.2017.
- [MI13] Department of Defense (US): MIL-STD-31000 Standard Practice Technical Data Packages (TDP), New Jersey (USA), 2013.
- [Ro16] Roth, M.: Informationsrückfluss aus Folgeprozessen der Konstruktion durch ein offenes und leichtgewichtiges Format, ergänzt durch ein Bewertungsmodell für Datenformate und Prozesse im PLM-Kontext, Dissertation, Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung TU Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2017. ISBN 978-3-95974-040-1.

[Si11] Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.: Systems-driven product development, Plano/Texas (USA), 2011. https://www.plm.automation.siemens.com/en_sg/Images/Siemens-PLM-Systems-Driven-Product-Development-wp_tcm963-121850.pdf, Abgerufen 14.6.2017.

Assistenz und Kooperation

Blue CollAR: Kollaboratives Arbeiten mit Augmented Reality in der maritimen Montage

Axel Friedewald, Nikolaj Meluzov, Robert Rost

Institut für Produktionsmanagement und -technik

Technische Universität Hamburg-Harburg

Denickestraße 17

21073 Hamburg, Deutschland

friedewald@tuhh.de

nikolaj.meluzov@tuhh.de

robert.rost@tuhh.de

Abstract: Die maritime Produktion ist durch den simultanen Ablauf von Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung/Montage geprägt. Die Produktion in kleinen Serien oder als Unikat birgt hierbei sowohl in den direkten als auch den indirekten Bereichen ein hohes Fehlerrisiko. Durch die erforderliche Zusammenarbeit der beteiligten Abteilungen unterbrechen Prozesse zur Problemlösung die wertschöpfende Arbeitszeit in den direkten und indirekten Bereichen. Zurzeit werden Montageprobleme per Telefon oder E-Mail mit einem Konstrukteur diskutiert und Konstruktionsänderungen werden als Papierzeichnungen umständlich an die direkten Bereiche weitergegeben. Um den hohen Zeitaufwand für Klärungs- und Änderungsprozesse deutlich zu verringern, wurde ein Augmented-Reality-basiertes Framework für eine effiziente Zusammenarbeit verschiedener Bereiche in der schiffbaulichen Produktion entwickelt.

1 Einleitung

Der Fremdleistungsanteil in der Wertschöpfung auf deutschen Werften liegt bei über 70 Prozent [Ludw14]. Zahlreiche Baugruppen des Gesamtproduktes werden von Unterauftragnehmern zugeliefert und montiert. In der Regel arbeiten Unterauftragnehmer und werfteigene Mitarbeiter zeitgleich am Gesamtprodukt. Die Komplexität des Produktes und der Charakter einer Unikatfertigung erfordern hierbei eine enge Zusammenarbeit der beteiligten (internen sowie externen) Mitarbeiter [Hein15]. Notwendigerweise kommt es hierbei zu Klärungs- und Änderungsprozessen zwischen direkten und indirekten Bereichen. Hierbei wird die bereichsübergreifende Diskussion komplexer Sachverhalte von konventionellen Kommunikationsmedien wie Telefongesprächen oder E-Mail-Verkehr dominiert. Diese bergen insbesondere bei der Diskussion komplexer Problemstellungen die Gefahr von Missverständnissen. Der gewöhnliche Arbeitsablauf wird durch Rückfragen oder Vor-Ort-Begehungen unterbrochen und die Arbeitsproduktivität in den indirekten und den direkten Bereichen verringert sich. Die heute und im Rahmen von Maritim 4.0 verfügbaren Methoden von Digitalisierung und Vernetzung bieten für die maritime Unikatfertigung neue Potentiale, um Flexibilität, Produktivität und Prozessqualität zu verbessern [Luka16].

Mehrere Analysen haben gezeigt, dass in Montageprozessen hohe Zeitanteile für die Beschaffung und Aufbereitung von Informationen aufgewendet werden [Hala15]. Durch den Einsatz einer Augmented-Reality-gestützten Tablet-Anwendung (vgl. Abbildung 1) konnte die Montage effizienter gestaltet werden [Hala15]. Diese stellt das jeweils nächste Bauteil in der richtigen Position und Orientierung dar und führt den Mitarbeiter schrittweise durch den Montageprozess, sodass die Anzahl der Montagefehler reduziert wird und die Produktivität steigt.

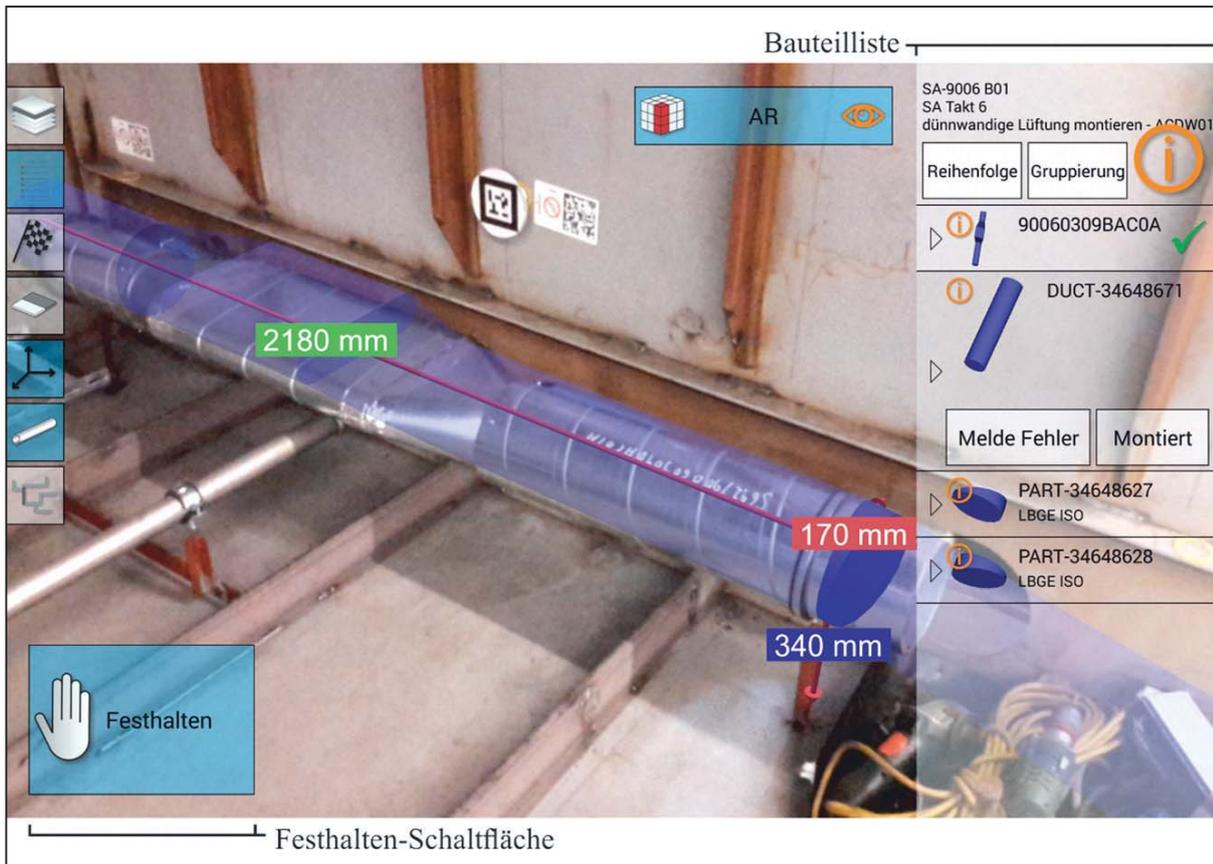


Abbildung 1: Augmented-Reality-gestützte Arbeitsunterlage für die Unikatfertigung, nach [Hala15]

Ziel der hier beschriebenen weiterführenden Arbeiten ist es, die digitale Arbeitsunterlage für weitere Problemstellungen einzusetzen. Ein Schwerpunkt ist dabei die Unterstützung der Kommunikation von der Fertigung und der Konstruktion. Ziel ist es, die Vernetzung der Systeme von indirekten (CAD) und direkten Bereichen (digitale Arbeitsunterlage) zu erreichen, Medienbrüche zu vermeiden und so die Kommunikation und somit Abwicklung von Problemlösungsprozessen durch grafische Elemente zu unterstützen, um alle Bereiche effizienter zu gestalten. Dieser Beitrag beschreibt dazu die Integration der vorgestellten, digitalen Arbeitsunterlage sowie Systeme aus indirekten Bereichen in eine Plattform zur bereichsübergreifenden Zusammenarbeit.

2 Informationsflüsse in der schiffbaulichen Ausrüstungsmontage

Der simultane Ablauf von Konstruktions- und Montageprozessen im Sinne von Simultaneous Engineering erfordert eine enge Abstimmung der mitwirkenden

Abteilungen und Bereiche [Hein15], [Nede09]. Im Folgenden werden der konventionelle Ablauf eines solchen Klärungs- bzw. Änderungsprozesses präzisiert und im Anschluss die konkreten Defizite im Prozessablauf benannt.

2.1 Klärungs- und Änderungsprozess

Die Produktion von Unikaten und Kleinserien ist von einer hohen Vielfalt und zugleich niedrigen Wiederholhäufigkeit der durchzuführenden Arbeitsaufgaben geprägt [Scho80]. Die Wahrscheinlichkeit für Konstruktions- und Montagefehler ist aus diesem Grund höher als in der Serienproduktion. Auslöser können beispielsweise missverständliche Arbeitsanweisungen, sich überschneidende Bau-räume innerhalb der Montageumgebung durch unbemerkte Montagefehler oder Konstruktionsänderungen an nahegelegenen Baugruppen sein. Tritt ein solcher Fehler ein, kann dieser häufig nicht von den Produktionsmitarbeitern alleine gelöst werden. Abbildung 2 zeigt den schematischen Ablauf eines typischen Klärungsprozesses zwischen einem Werker und einem Konstrukteur, der z. B. von einem Montagefehler ausgelöst werden kann.

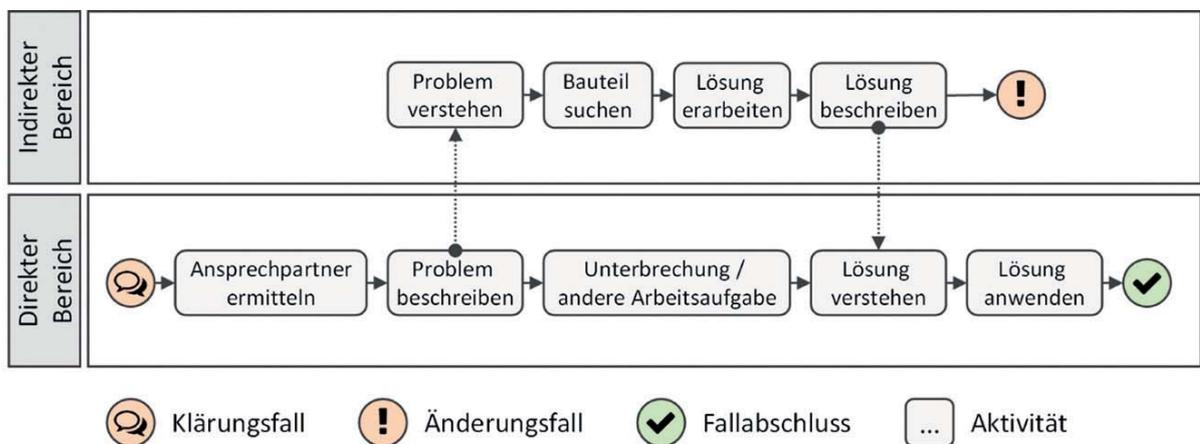


Abbildung 2: Schematischer Ablauf eines Klärungsprozesses

Nach Eintritt eines Klärungsfalles muss der Werker zunächst den zuständigen Ansprechpartner ermitteln. Bei Fremdleistungen erfordert dies häufig Umwege über Vermittler oder Bereichsverantwortliche, sodass ein hoher Zeitaufwand entsteht und die wertschöpfende Tätigkeit zum Teil lange unterbrochen werden muss. Ist die richtige Ansprechperson gefunden, beschreibt der Mitarbeiter das Problem am Telefon oder mit einer E-Mail. Vor allem bei komplexen Sachverhalten versteht der Konstrukteur nicht auf Anhieb das Problem, da ein geome-

trisches Problem in Worten beschrieben werden muss, sodass Rückfragen, zusätzliche Laufwege zur Klärung direkt am Montageplatz oder im schlimmsten Fall Missverständnisse entstehen, welche zu Folgefehlern führen. Der Werker unterbricht die Arbeit und widmet sich einer neuen Aufgabe, während der Konstrukteur die betroffene Baugruppe in seinem System sucht und eine Lösung erarbeitet. Für die Erarbeitung einer Lösung ist auch der Konstrukteur gezwungen, seine aktuelle Arbeitsaufgabe zu unterbrechen. Anschließend kontaktiert er den Werker, der seine Arbeit unterbrechen muss, um die Lösung zu kommunizieren. Bei der Übermittlung der Lösung kann es wiederum zu Rückfragen und Missverständnissen aufgrund unzureichender Kommunikationsmedien kommen. Mit der vom Konstrukteur erwirkten Änderung ist zwar das akute Problem gelöst, jedoch besteht das Risiko, mit der Änderung weitere Montageprobleme zu verursachen, sodass der Prozess an anderer Stelle neu angestoßen wird.

2.2 Defizite

Aufwändige Prozesse zur Identifikation eines Ansprechpartners, der Einsatz konventioneller Kommunikationsmedien (Telefon, E-Mail) sowie die Komplexität und örtliche Trennung der direkten und indirekten Bereiche führen insbesondere zu einer negativen Beeinflussung der Faktoren Zeit und Qualität. Kommt es zu Missverständnissen und infolgedessen zu Mehrarbeit, so wirkt sich dies zusätzlich auf die Kosten aus. Eine Erweiterung der klassischen Kommunikationsmedien durch Videos (Videotelefonie) oder Bilder (Fotos im Anhang einer E-Mail) kann zwar die Häufigkeit von Missverständnissen reduzieren, insbesondere bei komplexen Problemstellungen bieten diese jedoch keine Möglichkeit, Blickwinkel und Position des Betrachters zu verändern oder alternative Lösungen zu visualisieren. Da ein Video oder ein Foto zudem keine Produktinformationen enthält, muss ein Konstrukteur zusätzlichen Aufwand für die Suche des Bauteils in dem eigenen IT-System aufbringen. Das folgende Kapitel zeigt ein Konzept für eine effiziente Kommunikation der direkten und indirekten Bereiche.

3. Kollaborative Augmented Reality

Der Einsatz von 3D-CAD-Modellen ist in indirekten Bereichen seit Jahren Standard. Sie erleichtern es, komplexe geometrische Sachverhalte anschaulich

darzustellen. Untersuchungen in direkten Bereichen zeigen, dass dies auch für die Produktionsunterlagen gilt. Ein Beispiel hierfür sind digitale Arbeitsunterlagen nach [Hala15] (vgl. Abbildung 1). Die Lösung ersetzt konventionelle papierbasierte Arbeitsunterlagen und ist für den Einsatz in der Montage konzipiert. Die Applikation arbeitet hier jedoch weitestgehend autark. Durch eine Vernetzung der Systeme aus indirekten und direkten Bereichen können Klärungsprozesse digital unterstützt und somit vereinfacht werden. Im Folgenden wird ein Ansatz präsentiert, welcher den Gedanken der Vernetzung mit Hilfe von Augmented Reality aufgreift und so das Leitbild von Maritim 4.0 verfolgt.

3.1 Herausforderungen und Lösungskonzept

Die identifizierten Defizite lassen sich zu vier wesentlichen Herausforderungen zusammenfassen, die den Dimensionen der Kollaboration nach [Neum17] entsprechen:

1. **Unternehmensübergreifende Koordination:** Um Suchzeiten für Ansprechpartner in der unternehmenseigenen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung oder bei Fremddienstleistern zu minimieren, muss eine neue Lösung die unternehmens- und bereichsübergreifende Koordination der beteiligten Mitarbeiter ermöglichen.
2. **Verbesserung der Kommunikation:** Um Missverständnisse und Rückfragen zu verringern, muss vor allem die zweifelsfreie Diskussion von geometrischen Problemstellungen parallel zu einer mündlichen oder textuellen Beschreibung erreicht werden. Darüber hinaus ist ein schneller Zugriff auf die 3D-Geometriemodelle zu gewährleisten.
3. **Integration von Wissen:** Während des Klärungsprozesses entsteht sowohl in den indirekten als auch den direkten Bereichen Wissen. Dies kann z. B. im Erkennen von Montageproblemen oder in erarbeiteten Lösungskonzepten bestehen. Dieses Wissen gilt es zu integrieren und somit zu dokumentieren, um es für zukünftige Problemstellungen zur Verfügung zu stellen.

4. **Bereitstellen einer Informationslogistik:** Um die Effizienz sowie die Qualität des Klärungsprozesses zu steigern und so Missverständnissen vorzubeugen, muss die Lösung eine Informationslogistik bereitstellen, welche Informationen für die unterschiedlichen Parteien zur Verfügung stellt, hierbei jedoch Redundanzen vermeidet.

Es gilt damit, die digitale Arbeitsunterlage um Funktionen der kollaborativen Arbeit (Abschnitt 3.2) zu erweitern. Das dafür zunächst für maritime Einsatzfelder entwickelte Blue CollAR-System (vgl. Abbildung 3) ist als Framework gestaltet und integriert bestehende Lösungen der betrieblichen IT-Landschaft (Abschnitte 3.3 und 3.4).

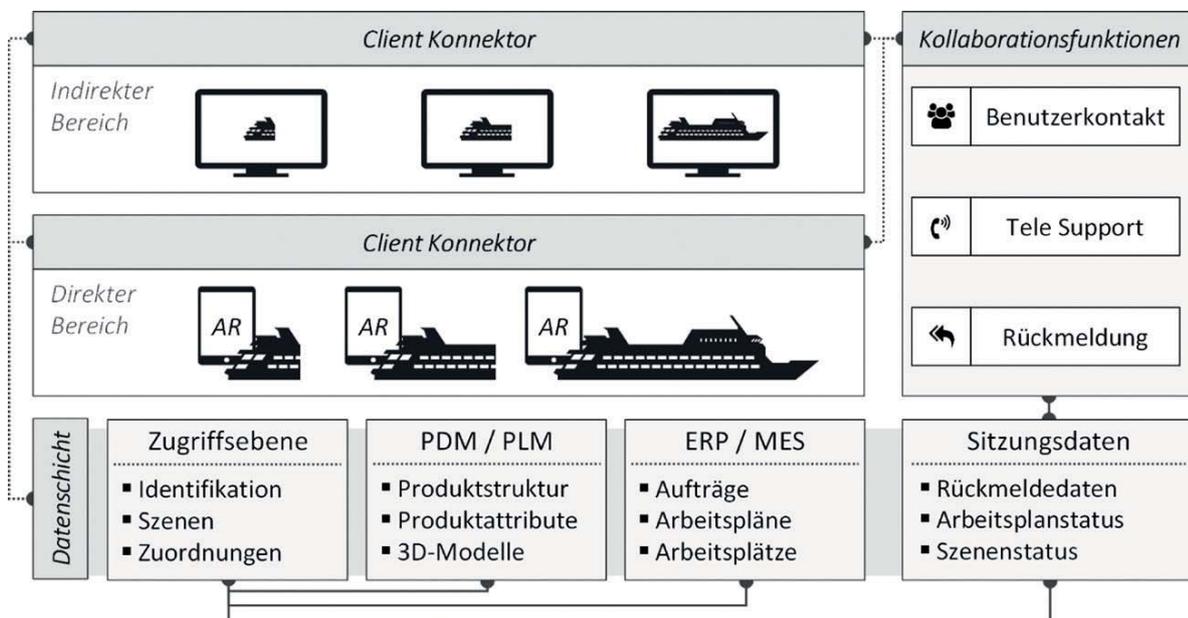


Abbildung 3: Blue CollAR – Kollaboratives Arbeiten mit Augmented Reality

3.2 Kollaborationsfunktionen

Eine Möglichkeit zur Zusammenarbeit von externen und werfteigenen Mitarbeitern aus direkten und indirekten Bereichen wird über sogenannte Kollaborationsfunktionen realisiert. Sie stellen die Schnittstellen zwischen Anwender und Kollaborationsframework dar.

Zu Beginn einer Kollaboration gilt es, die beteiligten Mitarbeiter zusammenzuführen. Diese Koordinationsaufgabe wird von der Funktion des **Benutzerkontaktes** erfüllt. Für eine problemspezifische Identifizierung eines Ansprechpartners ist es hierbei notwendig, sowohl Zuständigkeitsbereiche von Mitarbeitern für bestimmte Bauteile/Bauteilgruppen (hinterlegt im PDM/PLM-System) sowie, losgelöst davon, Zuständigkeitsbereiche für bestimmte Problemstellungen (Arbeitsvorbereitung/Konstruktion/Projektmanagement) einzubeziehen. Ziel ist es, so den richtigen Ansprechpartner für das Problem eines spezifischen Bauteiles schnell aufzufinden. Der Einstieg in den Benutzerkontakt kann hierbei durch vorhandene Attribute in der Produktstruktur und eine ergänzende Maske mit vorgefertigten Problemmeldungen geschehen. Im Falle der Abwesenheit von Ansprechpartnern muss das System zudem Alternativlösungen vorhalten, sodass in jedem Fall ein (wenn auch nicht unmittelbar) zuständiger Kontakt gefunden wird.

Die Funktion **Tele-Support** bildet den zentralen Kommunikationsprozess ab. Um auch geometrisch anspruchsvolle Probleme und Lösungen diskutieren zu können, werden hierzu Daten aus Client-Systemen aggregiert, visualisiert und an andere Benutzer und Client-Systeme weitergeleitet. In einem ersten Schritt können Kontextinformationen wie der aktuelle Arbeitsplan, der zuletzt durchgeführte Arbeitsschritt und das aktuell manipulierte Bauteil eine einfach verständliche Basis der Kommunikation sein. Diese Daten sind in der digitalen Arbeitsunterlage und CAD/ERP/MES-Systemen verfügbar. In einem zweiten Schritt kann die Kommunikation durch die Übermittlung, von einschlägigen Aktionen ausgehend, von den Client-Systemen laufend unterstützt werden. Als Beispiel kann das CAD-System eines Konstrukteurs das Auswählen eines Bauteiles melden. Dieses Ereignis wird von der Tele-Support-Funktion verarbeitet, an die digitale Arbeitsunterlage eines kollaborierenden Monteurs gemeldet und dort entsprechend visualisiert. Andersherum kann die digitale Arbeitsunterlage die aktuelle Position des Betrachters übertragen, so dass der Konstrukteur diese in seinem System einnehmen und die Szenerie aus demselben Blickwinkel betrachten kann. Die Bestimmung erfolgt hierbei über das in der Tablet-Anwendung integrierte Trackingsystem, welches zur Darstellung von geometrischen Überlagerungen im Sinne von Augmented Reality sorgt.

Die **Rückmeldung** von Daten und Informationen beendet die Kollaborationsfunktionen und ermöglicht die Integration von Wissen. Eine Rückmeldung

kann hierbei sowohl von direkten als auch von indirekten Bereichen ausgehen. Kommt es beispielsweise zu einer Konstruktionsänderung, so kann diese systemseitig direkt an Werker gemeldet werden, welche sich unter der Verwendung der digitalen Arbeitsunterlage im näheren Umfeld befinden. Dadurch wird einem Montageproblem vorgebeugt.

3.3 Client-Konnektoren

Client-Konnektoren ergänzen die Kollaborationsfunktionen, indem 3D-Daten-Systeme, wie eine CAD-Software oder die digitale Arbeitsunterlage, als Interaktionsmedium eingebunden werden. Das Ziel der Integration ist es hierbei, die Funktionalität der vorhandenen Systeme zu nutzen und die notwendige Infrastruktur für den Austausch von Informationen zwischen den Benutzern bereitzustellen.

Grundsätzlich ist ein Konnektor als Plug-in für das bestehende System zu verstehen. Es handelt sich um eine systemspezifische Entwicklung und Implementierung. Um den Entwicklungsaufwand gering zu halten, melden die Konnektoren standardisierte Ereignisse an das Framework. Ein solches Ereignis kann beispielsweise das Auswählen oder das Bewegen eines Bauteiles sein. Diese Ereignisse werden vom Framework verarbeitet, protokolliert und gezielt an die Systeme der Kollaborationspartner weitergeleitet. Je nach Bedarf muss ein solcher Konnektor neben dem Senden von Ereignissen auch das Empfangen und Interpretieren ermöglichen. Im Falle des Auswählens und Bewegens eines Bauteiles muss das Bauteil im jeweils dargestellten 3D-Modell identifiziert und entsprechend markiert bzw. manipuliert werden. Die technische Herausforderung besteht hier in der präzisen Zuordnung von Ereignissen und Elementen der Produktstruktur, weshalb eine Datenschicht die notwendige Infrastruktur bereitstellen muss.

3.4 Datenschicht

Die Datenschicht bildet den zentralen Zugangspunkt zur unternehmensinternen IT-Infrastruktur ab, um für die einzelnen Client-Anwendungen die notwendigen Daten vollständig und strukturiert bereitzustellen. Als Ausgangspunkt dient eine

interne Zugriffsebene für die Verwaltung von Aufträgen und Arbeitsplänen. Die dafür notwendigen Daten werden aus den angebundenen ERP/MES-Systemen bezogen. Weiterhin können über die Zugriffsebene 3D-Modelle für die Darstellung der Montageobjekte eingebunden werden. Die dafür notwendigen Geometriedaten werden aus einem PDM/PLM-System bezogen.

Um den Einsatz der Kollaborationsfunktionen zu befähigen, werden ergänzende Datenstrukturen benötigt, welche Rückmeldungen, Arbeitsplanstatus sowie den aktiven Status einer Szene abbilden. Hierzu wurde ein zusätzlicher Datencontainer konzipiert, welcher diese für die Kollaborationssitzung relevanten Daten zusammenfasst (vgl. Abbildung 3).

4 Implementierungsansatz

Im vorangegangenen Kapitel wurde ein Lösungskonzept für eine effiziente Zusammenarbeit unterschiedlicher Abteilungen und die Nutzung virtueller Technologien vorgestellt. Die folgenden Abschnitte verdeutlichen eine mögliche Implementierung der Kollaborationsfunktionen in Anlehnung an den anfangs beschriebenen Problemlösungsprozess mithilfe des Frameworks, wiederum aus Sicht eines direkten sowie eines indirekten Bereiches.

4.1 Kollaboration mittels Webapplikation (indirekter Bereich)

Abbildung 4 zeigt beispielhaft eine Implementierung der Kollaborationsfunktionen (siehe Nummerierung) in einer Webapplikation. Diese kann grundsätzlich von jedem beteiligten Mitarbeiter aufgerufen und genutzt werden. Durch die Rückmeldung von Positionen kollaborierender Werker unter Einsatz der digitalen Arbeitsunterlage wird dem Anwender zunächst ein Überblick über die unmittelbare Umgebung der Baugruppe sowie andere im Arbeitsbereich befindliche Mitarbeiter geliefert (1). Die Positionsdaten stammen im besten Fall direkt vom Trackingsystem der eingesetzten, digitalen Arbeitsunterlage. Grundsätzlich sind jedoch auch eine ungefähre Positionsermittlung durch Rückmeldung eines gestarteten Auftrages, die Extraktion der darin bearbeiteten Bauteile und die Ermittlung der Positionsdaten aus Metainformationen im CAD-Modell denkbar.

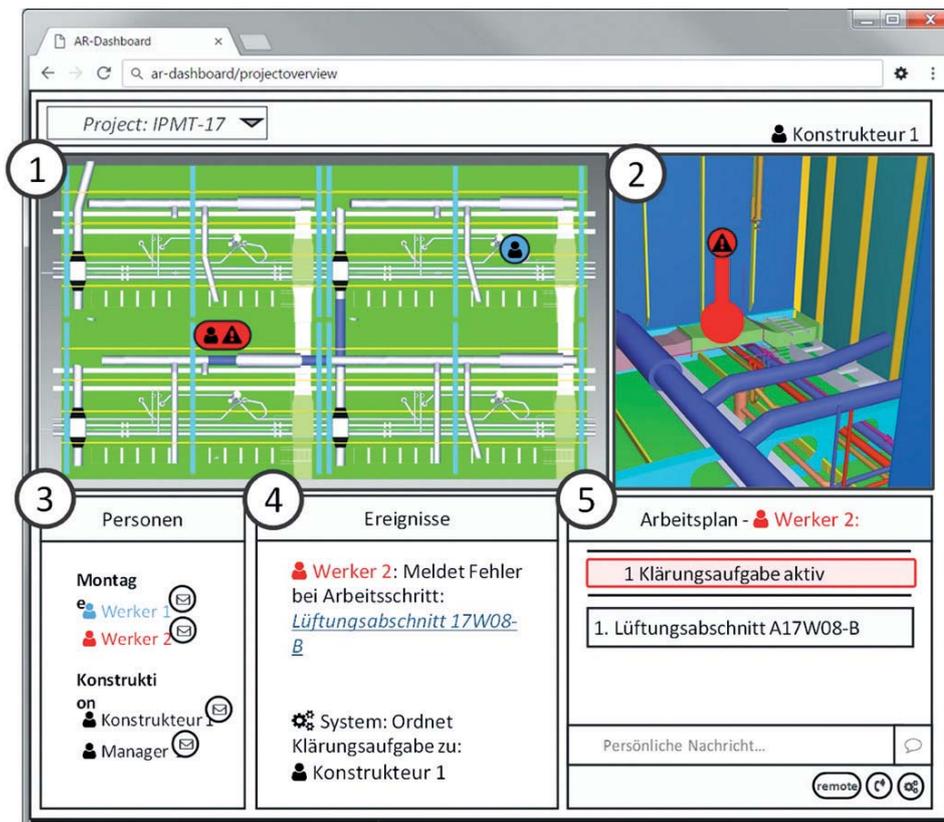


Abbildung 4: Kollaboration mittels Webapplikation

Des Weiteren kann die übermittelte Perspektive dazu eingesetzt werden, den genauen Blickwinkel des Werkers einzunehmen und so eine gemeinsame Diskussionsgrundlage schaffen (2). Für eine Visualisierung ist hierbei lediglich die Übermittlung der Positionsdaten und kein Austausch von Videobildern oder Geometriemodellen erforderlich. Dies führt dazu, dass selbst langsame Datenverbindungen ausreichen, um die Kollaboration auf dieser Ebene zu ermöglichen.

Ergänzend bekommt der Anwender den aktuellen Arbeitsplan sowie den aktiven Arbeitsschritt übermittelt (5). Diese Ansicht kann mithilfe der Personalliste (3) sowie der Übersichtskarte für jeden Mitarbeiter innerhalb des Arbeitsbereiches aufgerufen werden, um so mögliche Kollegen zur Hilfestellung zu koordinieren. Zur Verfolgung der Geschehnisse innerhalb der Kollaborationssitzung werden die stattfindenden Ereignisse in einer zusätzlichen Ereignisliste dargestellt (4).

4.2 Kollaboration mittels digitaler Arbeitsunterlage (direkter Bereich)

Die digitale Arbeitsunterlage (Abbildung 5) verfügt bereits über Funktionalitäten zur schrittweisen Darstellung von Arbeitsanweisungen (1) und dient zeitgleich

zur Visualisierung geometrischer Objekte (2). Versehen mit einem Konnektor zum Kollaborationsframework (3), kann sie daher als Endgerät zur Erzeugung sowie Darstellung von Kollaborationsereignissen verwendet werden.

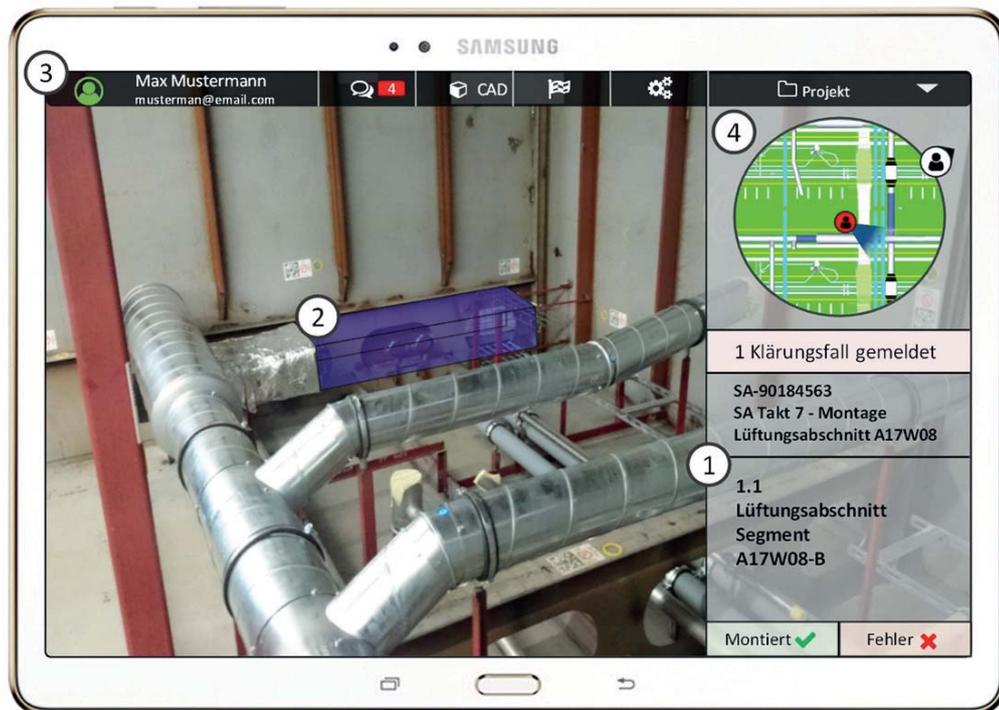


Abbildung 5: Kollaboration mittels digitaler Arbeitsunterlage

Gleichermaßen können Positionen anderer Mitarbeiter auf einer Übersichtskarte (4) dargestellt und so direkt Hilfestellungen geleistet oder angefordert werden. Dies fördert sowohl in den direkten als auch den indirekten Bereichen den Gesamtüberblick über das Produkt und die beteiligten Mitarbeiter.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Vorangegangene Arbeiten konnten zeigen, dass der Einsatz AR-gestützter Technologien in direkten Bereichen der Produktion von Unikaten und Kleinserien den Aufwand zur Informationsbeschaffung und -verarbeitung erheblich reduziert [Hala15]. Kommt es hier jedoch zu unvorhergesehenen Montageproblemen, werden aufwändige Klärungsprozesse angestoßen. Diese involvieren neben direkten auch die indirekten Bereiche und gestalten sich bei der Verwendung konventioneller Kommunikationsmedien als sehr zeitaufwändig. Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz, digitale Arbeitsunterlagen in direkten Bereichen in ein

übergeordnetes Framework einzubinden, um Funktionen des kollaborativen Arbeitens zu ergänzen und mit klassischen Systemen der indirekten Bereiche (CAD) zu verbinden. Dadurch können Prozesse zur Klärung von komplexen geometrischen Problemen sowie Lösungen effizienter gestaltet und das Risiko für Missverständnisse und Folgefehler reduziert werden. Die Lösung sieht hierzu den Austausch von Informationen zu Arbeitsschritten, Bauteilen und Bauteilmanipulationen zwischen unterschiedlichen Abteilungen und Systemen vor. Die Implementierung der Kollaborationsfunktionen in eine Webapplikation (für indirekte Bereiche) ergänzt die erweiterte digitale Arbeitsunterlage (für direkte Bereiche).

Bevorstehende Ziele sind, das beschriebene Konzept und den Implementierungsansatz in der industriellen Praxis zu evaluieren sowie exemplarisch Konnektoren für unterschiedliche Arten von Subsystemen zu entwickeln. Besonders herausfordernd sind die Implementierung in den unternehmensspezifischen IT-Systemlandschaften sowie die Auswahl eines situationsgerechten und praxistauglichen Trackingsystems.

Literaturverzeichnis

- [Hala15] Halata, P. S.; Friedewald, A.; Hillmer, A.: Augmented-Reality-gestützte Arbeitsunterlagen für die Unikatfertigung. In (Lukas, U. von Hrsg.): Go-3D 2015: Computergraphik für die Praxis. Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2015 ; Rostock, 03. September 2015. Fraunhofer-Verl., Stuttgart, 2015; S. 65–79.
- [Hein15] Heinig, M.: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten. Dissertation. Technische Universität Hamburg-Harburg, 2015.
- [Ludw14] Ludwig, T.; Wolnik, K.: Beschäftigung, Auftragslage und Perspektiven im deutschen Schiffbau. Studie der IG Metall Küste, Hamburg/Bremen, 2014.

- [Luka16] Lukas, U. v.: Zur Rolle des Menschen in der Zukunftsvision Maritim 4.0. Schiff & Hafen, 2016; S. 12-14.
- [Nede09] Nedeß, C.; Friedewald, A.; Wagner, L. Hrsg.: Verbesserte Planung durch Ablaufsimulation von Szenarien. In: Schenk, M. (Hrsg.): Digital Engineering – Herausforderungen für die Arbeits- und Betriebsorganisation. HAB-Forschungsbericht, GITO-Verlag, Berlin 2009, S. 239-259.
- [Neum17] Neumeyer, S. et al.: Systems Engineering im Kontext der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung. In Schulze, S.-O. et al. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, Herzogenaurach, 25.-27. Oktober 2016. Hanser-Verlag, München, 2017; S. 23-32.
- [Scho80] Schomburg, E.: Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau. Diss. RWTH Aachen, 1980.

Verwendung von 3D-Daten auf mobilen Assistenzsystemen im Bereich Betrieb und Wartung von Offshore-Windenergieanlagen

Martin Eggert, Konrad Jagusch, Jan Sender

Entwicklungsteam Unternehmens- und Produktionsorganisation
Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik
Albert-Einstein-Straße 30
18059 Rostock, Deutschland
martin.eggert@hro.ipa.fraunhofer.de
konrad.jagusch@hro.ipa.fraunhofer.de
jan.sender@hro.ipa.fraunhofer.de

Abstract: Mitarbeiter für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen im Bereich Offshore-Windenergie unterliegen durch Wetterfenster nicht nur einem gewaltigen Zeitdruck, sondern benötigen eine Vielzahl an für Ihre Arbeitsaufgaben notwendigen Informationen. Assistenzsysteme für den mobilen Einsatz auf Offshore-Anlagen können das Personal vor Ort durch 3D-Informationen unterstützen, den Arbeitsprozess effizienter gestalten und zu einer Erhöhung des ökonomischen Betriebs von Offshore-Windenergieparks durch automatisierte Schnittstellen beitragen.

1 Einleitung und Problemstellung

Durch die zunehmende Komplexität von Bauteilen und Geräten in Offshore-Windparks werden hohe Anforderungen an das Personal zum Betrieb und zur Wartung gestellt. Die Komplexität der Bauteile hat ebenso komplexe Wartungsprozesse zur Folge. Eine fehlerhafte Ausführung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen hat gravierende ökonomische Auswirkungen. Mobile Assistenzsysteme können nicht nur zur Unterstützung während der Durchführung

der Maßnahmen durch 3D-Daten und -Modelle beitragen, sondern auch einen erheblichen Teil der notwendigen Dokumentationsarbeit erleichtern. Die Visualisierung von Inhalten über 3D-Modelle soll dabei zum einen das Komplexitätsproblem für den Benutzer vereinfachen und zum anderen den Abstraktionsgrad zwischen herkömmlichen 2D-Ansichten und 3D-Modellen verringern. Dadurch soll der Benutzer in die Lage versetzt werden, die Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen effektiv und effizient durchzuführen. Hierfür müssen die Systeme so konfiguriert sein, dass eine den besonderen Rahmenbedingungen des Offshore-Betriebs gerechte Assistenz ermöglicht wird. Dies setzt ebenfalls eine Anbindung an eine komplexe Informationsplattform zur ganzheitlichen Datenverwaltung von Offshore-Windenergieparks voraus. Derzeit existiert jedoch kein aufgabenspezifisch konfigurierbares Assistenzsystem für die Bereitstellung von Informationen und der Dokumentation von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen.

Im Rahmen des Wachstumskerns Offshore Wind Solutions Mecklenburg-Vorpommern (OWS-MV)¹ wird daher eine Methodik zur Konfiguration anwendungsspezifischer Assistenzsysteme für mobile Anwendungen in der Wartung von Offshore-Strukturen entwickelt (Abbildung 1). Hierdurch soll zur optimalen Informationsversorgung der Mitarbeiter vor Ort sowie zur Beschleunigung der Dokumentation der Maßnahmen im Backoffice beigetragen werden.



Abbildung 1: Idee zum Einsatz mobiler Assistenzsysteme und 3D-Modellen für Wartungsmaßnahmen im Offshorebereich

¹ gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die besonderen Herausforderungen, die sich aus den rauen Rahmenbedingungen im Offshore-Betrieb ergeben, werden hierbei durch die Bildung von Referenzszenarien berücksichtigt.

2 Analysen von Anwendungsfällen und Referenzszenarien

Die Methodik zur Konfiguration mobiler Assistenzsysteme geht auf die vielfältigen Unterschiede der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten durch die Definition von Referenzszenarien ein und liefert dadurch die jeweils optimale Grundlage für den späteren Systemaufbau. Für die klare Definition des industriellen Bedarfs wurden in der Analysephase Interviews mit Unternehmen aus der Branche durchgeführt. Die Interviews zielten dabei vorrangig auf die Inhalte wiederkehrender Arbeiten auf dem Gebiet der jeweiligen Spezialisierung der Unternehmen ab. Als Ergebnis konnten folgende Referenzszenarien definiert werden:

- Szenario 1 – Reparatur der stahlbaulichen Konservierung an der Jacket-Struktur einer Energieübertragungsplattform
- Szenario 2 – Wartung von Krananlagen auf der Topsite-Struktur der Energieübertragungsplattform, dem Transition-Piece und in der Gondel der Windenergieanlage
- Szenario 3 – Wartung an ausgewählten Bauteilen der HVDC-Transformatorstation der Energieübertragungsplattform

Für jedes Szenario wurden beispielhafte Arbeitspläne erstellt und die Dokumentation der Arbeiten bei der Durchführung der jeweiligen Maßnahme sowie die Aufbereitung im Backoffice analysiert. Des Weiteren wurden Unterlagen definiert, durch die die Mitarbeiter in ihrer Tätigkeit unterstützt werden bzw. auf die sie im Bedarfsfall zurückgreifen können müssen. Hierbei wurden sowohl einfache Checklisten als auch interaktive, virtuelle 3D-Wartungsanleitungen für die vielfältigen technischen Systeme identifiziert (Abbildung 2).

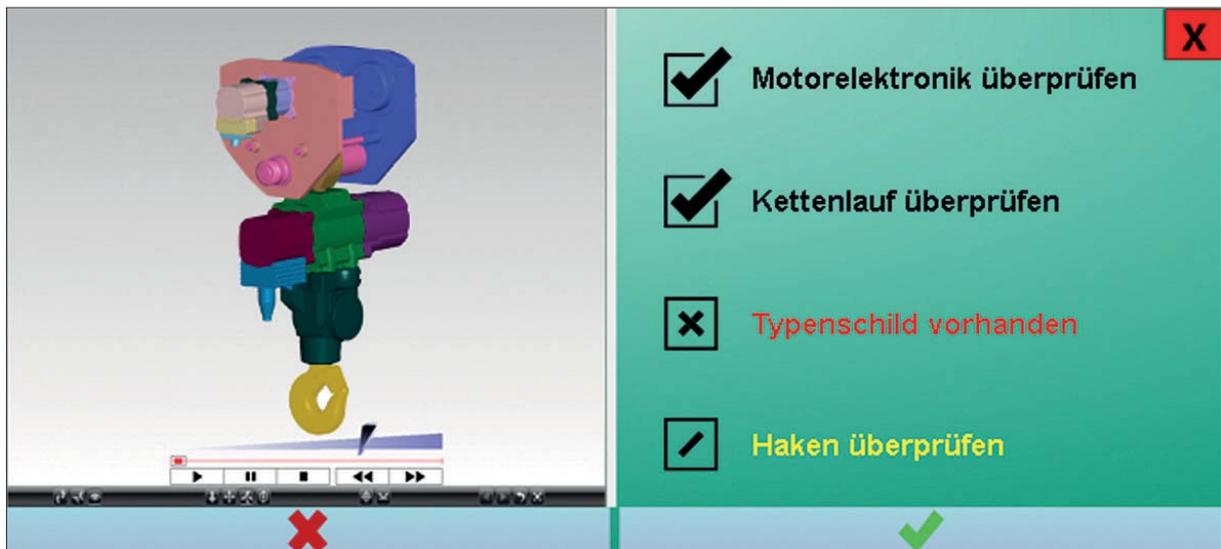


Abbildung 2: Interaktive, virtuelle 3D-Wartungsanleitungen in Verbindung mit einer Checklistendokumentation

Für die einzelnen Dokumenttypen konnte im Anschluss eine Abschätzung hinsichtlich des Datenumfangs, der Datenqualität und der Aufbereitungsform erfolgen. Außerdem wurden die Szenarien hinsichtlich ihrer Ausführung unter erschwerten Umweltbedingungen eingeordnet. Hierbei erfolgte die Einteilung zunächst grob nach der Ausführung der Arbeiten im Außen- oder Innenbereich der Anlagen. Daraus konnten auf Basis der Definition der spezifischen Umwelteinflüsse und der durchzuführenden Maßnahmen Anforderungen an das Assistenzsystem hinsichtlich der Abschirmung von äußeren Einflüssen, der Notwendigkeit einer Hands-free-Bedienung, der darzustellenden Informationen und der benötigten Hardwareschnittstellen abgeleitet werden. Im Ergebnis wurde für die nachfolgende Konzeption und Umsetzung des mobilen Assistenzsystems ein Anforderungskatalog aufgestellt, der durch Vorgaben grundlegende Systemfunktionen und Einsatzbedingungen definiert.

3 Konzept zur Konfiguration mobiler Assistenzsysteme für den Einsatz von 3D-Daten und -Modellen

Eine wesentliche Herausforderung für die Konfiguration eines mobilen Assistenzsystems ist die Anbindung an das zugrunde liegende Datenmodell, welches die abzurufenden Informationen beinhaltet. Aus diesem Grund wurde im ersten Schritt die Konfigurationsmethodik bilateraler Informationsflüsse für die

Anwendungsszenarien und das ebenfalls im Wachstumskern OWS-MV entstehende Datenmodell konzipiert. Inhaltlich wurde dabei von einem bedarfsorientierten Informationsfluss ausgegangen, d. h. dass Mandanten Anfragen hinsichtlich ihres Informationsbedarfs an ein zentrales System richten und ihren Rollen und Arbeitsaufgaben entsprechend mit den notwendigen Daten versorgt werden. Da für die Datenbereitstellung auf den Offshore-Windenergieanlagen und Energieübertragungsplattformen derzeit keine Drahtlosnetzwerke installiert sind, jedoch einzelne Zugriffspunkte in Form von fest installierten, redundanten Glasfaserleitungen existieren, müssen alle notwendigen Daten vor Beginn der Arbeiten auf dem mobilen Endgerät synchronisiert werden. Hierbei ist es umso wichtiger, dass dem Anwender alle notwendigen, jedoch keine überflüssigen Daten auf dem Assistenzsystem zur Verfügung gestellt werden. Hierfür muss das System einem Rollenmodell unterliegen, welches die Benutzer anforderungsgerecht kategorisiert. Eine Übertragung der mit dem Assistenzsystem erstellten Dokumentationsunterlagen zum Onshore-Backoffice ist über die zentralen Zugriffspunkte ebenfalls einfach realisierbar (Abbildung 3).

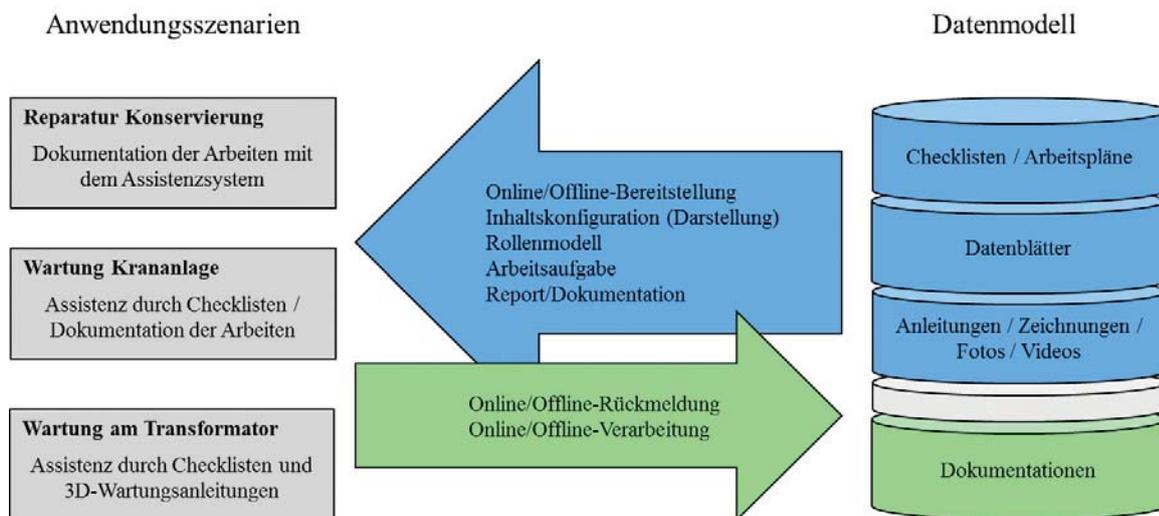


Abbildung 3: Konzept zur Konfiguration bilateraler Informationsflüsse für das mobile Assistenzsystem

Für die Bereitstellung und Nutzung von Informationen für die Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen ist die Konzipierung und Definition des Zusammenwirkens mehrerer verschiedener Datei- bzw. Dokumenttypen von entscheidender Bedeutung. So müssen für während der Inspektion erkannte Schäden

gleichzeitig zur Inspektionscheckliste auch die Wartungs- und Reparaturanleitungen der während der Maßnahme zu überprüfenden Anlagenbestandteile und -systeme sowie Informationen hinsichtlich der zu verwendenden Werkzeuge und Ersatzteile bereitgestellt werden, um sie, wie im Beispiel in Abbildung 4 gezeigt, im Bedarfsfall nutzen zu können. Während der Nutzung müssen außerdem Referenzen auf die für die Dokumentation etwaiger Reparaturmaßnahmen benötigten Dokumente vorhanden sein, um diese dann dem zentralen Datenmodell zur Verfügung zu stellen.

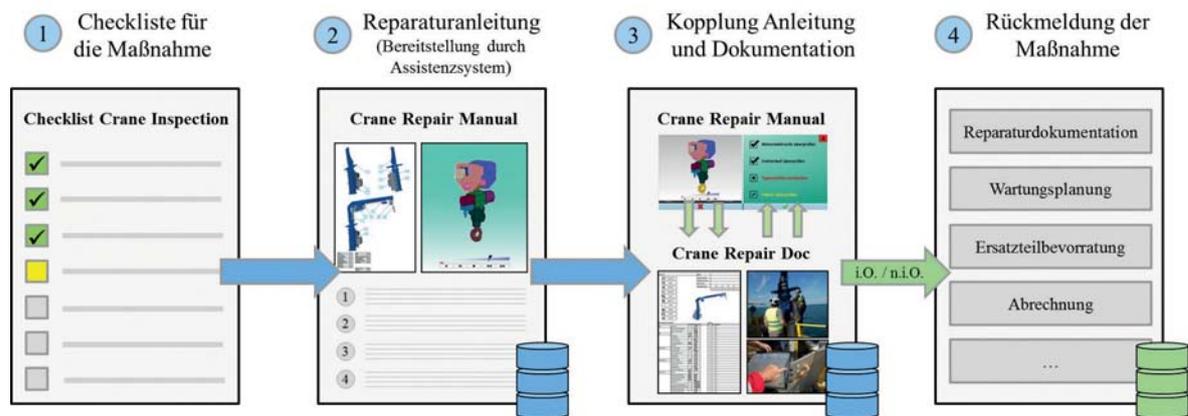


Abbildung 4: Beispiel für das Zusammenwirken mehrerer Dokumententypen

Neben der Informationsübertragung wurde ebenfalls die Gestaltung der Informationsaufbereitung konzipiert. In einem modular gegliederten Aufbereitungsprozess sollen die Informationen zunächst spezifisch anhand ihres Typs verarbeitet werden. Hierfür muss die Softwarearchitektur des Assistenzsystems entsprechend modular gestaltet sein und szenariospezifische Funktionen aufweisen. Während der Weiterverarbeitung der Daten müssen Umwelteinflüsse sowie systemische Parameter beachtet werden, sodass die Informationen in geeigneter Art und Weise vom Anwender genutzt werden können. Hierbei müssen ebenfalls die Möglichkeiten der Interaktion des Benutzers mit dem Assistenzsystem bedacht werden (Abbildung 5).

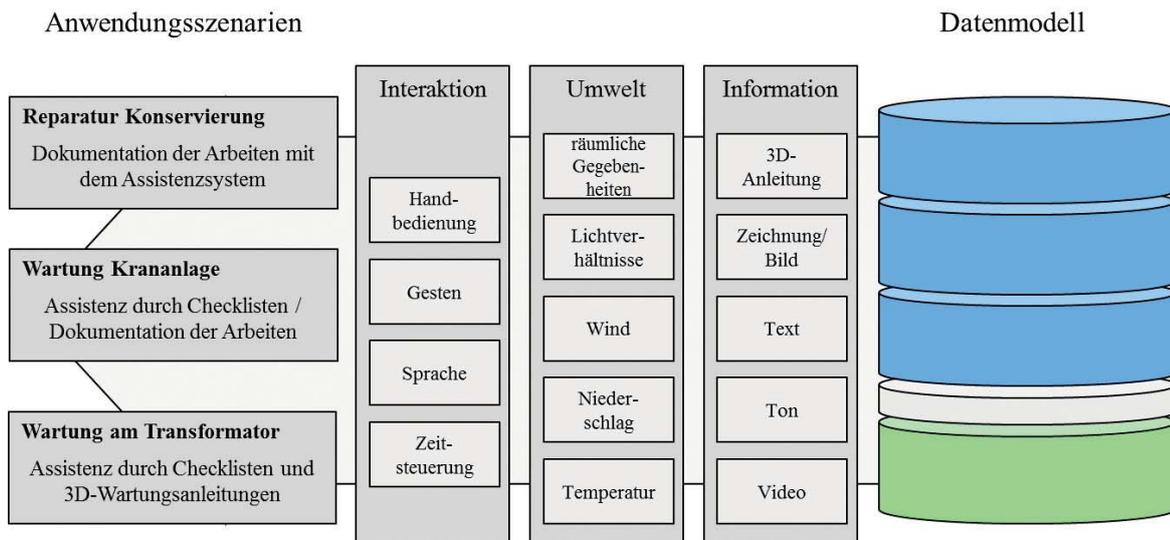


Abbildung 5: Konzept zur modularen Gestaltung der Informationsaufbereitung

Beispielsweise bedeutet dies für die in Szenario 3 (Wartung am Transformator) konzipierte Verwendung von interaktiven 3D-Wartungsanleitungen zur Assistenz der Durchführung der Maßnahme, dass diese auf dem Endgerät so dargestellt werden muss, dass der Benutzer trotz der eingeschränkten Arbeitsbereiche und widrigen Umgebungsbedingungen alle wesentlichen Informationen aufnehmen und verarbeiten kann. Des Weiteren erfordert diese Maßnahme zum Teil eine Hands-free-Bedienung des Assistenzsystems, was eine herkömmliche Handbedienung via Oberflächenberührung ausschließt. In diesem Fall muss die Interaktion zwischen Nutzer und Assistenzsystem auch durch Sprachbefehle ermöglicht werden. Dies setzt voraus, dass die Informationen in geeigneter Art und Weise aufbereitet und die entsprechenden Softwaremodule für die Spracherkennung und die Anzeige der 3D-Wartungsanleitung miteinander verknüpft sind. Als Aufbereitungsformen sind einfache Dokumente, Audioguides, 3D-Modelle und Anwendungen im Bereich Augmented Reality (AR) geeignet, mit denen auf unterschiedliche Art und Weise interagiert werden können muss. Im Rahmen der definierten Szenarien soll das Assistenzsystem sowohl durch die Handbedienung auf Tasten und Touch-Oberflächen, als auch über Gesten, Smart Gloves oder die bereits beschriebene Spracherkennung vom Mitarbeiter bedienbar sein.

4 Anforderungsgerechte Konfiguration von Assistenzsystemen

Anhand der beschriebenen Konzepte der Informationsflüsse sowie der Informationsaufbereitung und unter Beachtung der Möglichkeiten der Datenübertragung und der Systematik der Umweltfaktoren für den Offshore-Bereich kann ebenfalls die anwendungsspezifische Hardwarekonfiguration erfolgen. Dabei muss die Systemhardware ebenfalls in engem Zusammenspiel mit den modularen Informationsflüssen und der Informationsaufbereitung ausgelegt sein. Neben diesen Einflüssen bringen die definierten Anwendungsszenarien vielfältige Anforderungen mit sich. Diese reichen von der Abschirmung vor äußeren Einflüssen der Umgebung über die Integrierbarkeit in die vom Wartungspersonal mitgeführte Ausrüstung bis hin zur Leistungsfähigkeit der Systeme selbst. Hieraus ergibt sich ein morphologischer Kasten bzw. ein Hardware-Konfigurator für das Assistenzsystem (Abbildung 6).

Das derzeitige Konfigurationskonzept sieht für das mobile Assistenzsystem sowohl die Einsetzbarkeit von Industrie-Tablets als auch Datenbrillen vor. Beide Systeme weisen dabei spezifische Vor- und Nachteile auf. So haben Tablets den Vorteil, dass sie schnell und zum Teil bereits in sehr robuster Bauart am Markt verfügbar sind. Darüber hinaus sind sie mit mehreren Systemen schnell und einfach auf Grund ihrer hohen Schnittstellenvielfalt koppelbar. Dadurch, und auf Grund der Verfügbarkeit hoher Rechengeschwindigkeiten, sind viele Informationen und detaillierte Modelle auf ihnen darstellbar. Ihre größten Nachteile sind ihre Abmessungen und die schlechte Bedienbarkeit parallel zur Ausführung einer Wartungsmaßnahme.

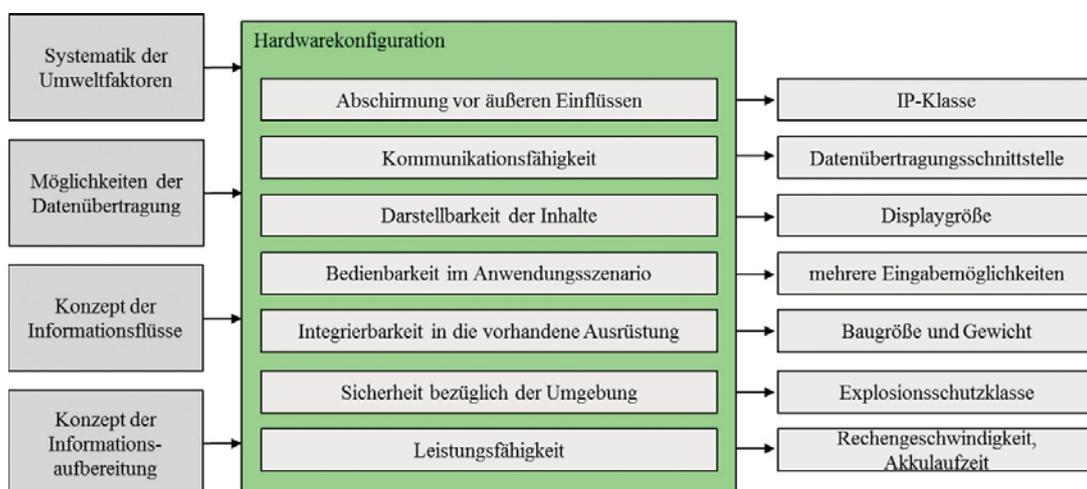


Abbildung 6: Konzept eines Ansatzes zur anwendungsspezifischen Hardwarekonfiguration des mobilen Assistenzsystems

Viele Datenbrillen hingegen sind auf Grund ihrer Bauart leicht in die vorhandene Ausrüstung integrierbar und ermöglichen die Durchführung der Arbeiten ohne eine Einschränkung der Hände. Allerdings existieren derzeit wenig industriell bzw. in rauen Umgebungen einsetzbare Geräte. Die Rechengeschwindigkeit ist bei diesen Modellen ebenfalls sehr gering, sodass potenziell nur einfache Inhalte und kleine 3D-Modelle darstellbar sind. Der größte Vorteil von Datenbrillen liegt in der Darstellbarkeit der erweiterten Realität (AR), durch die eine Assistenz während Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sowohl in einfacher Form durch Checklisten als auch mit 3D-Modellen an eine direkte Dokumentation gekoppelt werden kann. Allerdings erfordert insbesondere die Darstellung von 3D-Modellen mittels AR ein Tracking für die Positionierung und Ausrichtung der 3D-Inhalte. Der Reifegrad der bisherigen Trackingtechnologien ist dabei zu gering für reale Applikationen, sodass diese Möglichkeit im OWS-Wachstumskern zwar verfolgt wird, es aber absehbar ist, dass sie im entstehenden Assistenzsystem nicht eingesetzt werden wird.

5 Schlussbetrachtungen

Das dargestellte Konzept wird im weiteren Projektverlauf des Wachstumskerns OWS-MV zu einer vollständigen Konfigurationsmethodik für anwendungsspezifische Assistenzsysteme zum mobilen Einsatz in der Wartung von Offshore-Strukturen umgesetzt. Hierbei sollen ebenfalls erste Funktionen des Softwarepakets prototypisch entwickelt werden. Ein Ansatz ist hierbei die interaktive Auswahl der zu wartenden Anlage aus einem 3D-Modell (Abbildung 7). Dabei steuert der Nutzer eine Kamera und „fliegt“ somit durch eine 3D-Animation des Windparks, wobei die Steuerungsbefehle zur Navigation im Modell je nach Anwendungsfall zwischen manueller Eingabe, Gesten und Sprachanweisung variieren können. Die einzelnen Elemente (Windenergieanlagen, Übertragungsplattform etc.) können vom Nutzer frei ausgewählt und bezüglich ihres Wartungsstatus ausgewertet werden. Anhand der Erzeugnisstruktur der ausgewählten Anlage kann der Benutzer weiter bis in die für ihn relevanten Bereiche geleitet und mit Dokumenten und Informationen versorgt werden. Hierdurch kann neben der ansprechend visuellen Aufbereitung der Informationen für den Benutzer und der intuitiven Menüführung ebenfalls dem Problem der Komplexität von Bauteilen und Geräten entgegengewirkt werden.

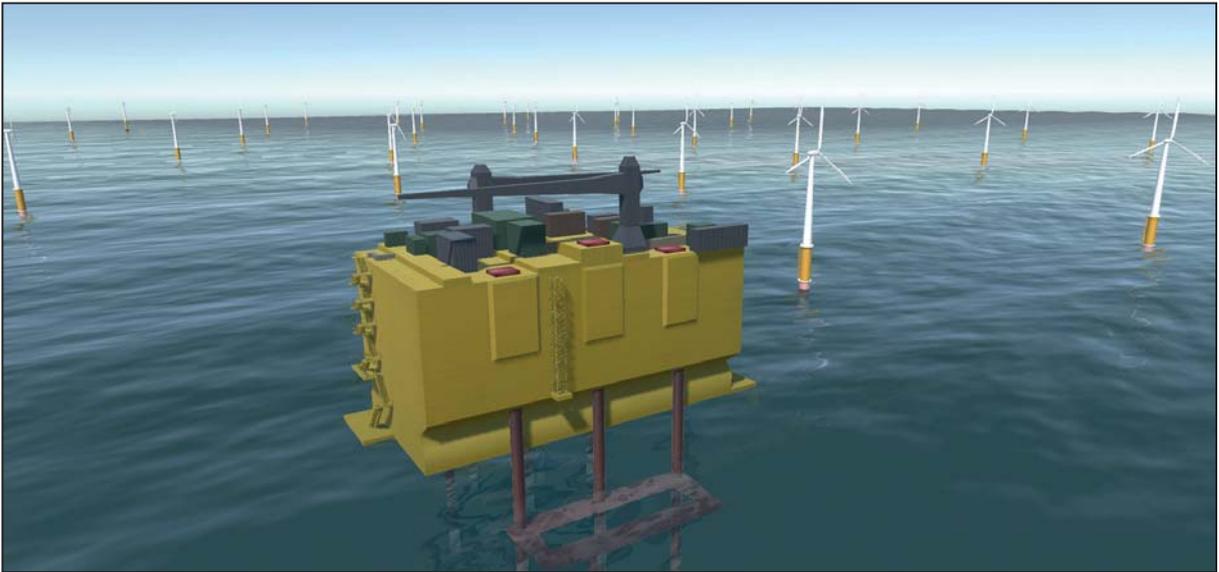


Abbildung 7: 3D-Modell eines Windparks zur Auswahl der zu wartenden Anlage

Ein weiterer Entwicklungspunkt betrifft die Anbindung des Assistenzsystems an das hinterlegte Datenmodell. Hierfür sollen Webcontainer in das 3D-Modell eingebunden werden, durch die eine Zugänglichkeit zur Software für das Wartungs- und Instandhaltungsmanagement realisiert werden soll. Über diese Webschnittstelle soll ebenfalls der Datenaustausch für die automatisierte Dokumentation der Wartungsmaßnahmen stattfinden.

Durch die Funktionen und den Aufbau des mobilen Assistenzsystems können so komplexe Wartungsprozesse fehlerfrei durchgeführt und ökonomische Auswirkungen gemindert werden. Ebenso werden um die Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen angesiedelte Prozesse, wie die Dokumentation und die Beschaffung von Ersatzteilen, beschleunigt. Das mobile Assistenzsystem trägt damit zukünftig zu einer Steigerung des ökonomischen Betriebs von Offshore-Windenergieparks bei. Eine Ausweitung auf andere Branchen ist denkbar.

Änderungen Kommunizieren

Lukas Niepert, Carsten Zerbst

PROSTEP AG
Sachsenstraße 14
200079 Hamburg, Deutschland
lukas.niepert@prostep.com
carsten.zerbst@prostep.com

Abstract: Änderungen sind ein ungeliebter, aber fester Bestandteil des Produktentstehungsprozesses. Sie können einen erheblichen Teil der Kosten verursachen. Umso wichtiger ist es, geplante Änderungen an dem Produkt eindeutig und sicher an die beantragenden Personen zu kommunizieren. Ein Änderungsprotokoll, welches sowohl geometrische wie nicht-geometrische Änderungen eindeutig kommuniziert, ist ein wesentlicher Schritt um dies sicherzustellen. Mithilfe der 3D-PDF-Technologie wurde dieses Änderungsprotokoll für die Kommunikation zwischen Werft und Klassifikationsgesellschaft umgesetzt. Das intelligente Dokument enthält eine leichtverständliche Dokumentation des IST-Zustands wie auch den Stand nach Umsetzung des Änderungsantrags. Die notwendige Delta-Darstellung wird dabei für geometrische wie nicht-geometrische Änderungen automatisch erzeugt.

1 Einleitung

Änderungen werden im Rahmen eines Engineering-Change-Prozesses behandelt und abgearbeitet. Dieser Prozess kann grob in fünf Phasen aufgeteilt werden, die sich mit dem Identifizieren, Analysieren, Planen, Durchführen sowie dem Überprüfen und Abschließen von Änderungen beschäftigen. Zu Beginn dieses Prozesses steht eine Anforderung, die zu erfüllen, oder ein Problem, das zu be-

heben ist. Die Anforderung oder das Problem kann dabei von verschiedenen Personen (etwa von der Fachabteilung selbst, der Fertigung, dem Kunden oder von Zulassungsbehörden) im Rahmen eines Änderungsantrags (Change Request) an die Produktentwicklung herangetragen werden.

In der verantwortlichen Fachabteilung wird dieser Änderungsantrag dann auf die technische Machbarkeit überprüft sowie eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Auf dieser Basis wird dann der Change-Request bewertet und priorisiert. In der Planungsphase sollte eine Impact-Analyse durchgeführt werden, um die Auswirkung der Änderung auf ähnliche Produkte oder (beim Ändern eines Einzelteils oder einer Baugruppe) die Auswirkung auf andere Produkte, die dieses Teil oder die Baugruppe ebenfalls verwenden, offenzulegen. Der Change-Request wird dabei als zentrales Objekt genutzt, an den alle notwendigen Informationen wie die Verantwortlichkeiten oder bisher getroffene Entscheidungen gebunden sind.

Fällt die Bewertung des Change-Requests positiv aus, wird er weiter von der Fachabteilung realisiert und bezüglich der anfänglich gestellten Anforderungen getestet. Zur Realisierung gehört außerdem die Aktualisierung der bestehenden Dokumentationen des betroffenen Produktes, um die Anpassungen letztlich zu veröffentlichen. Das Ergebnis des Change-Requests wird schließlich an den initialen Antragsteller kommuniziert, der (z. B. im Falle einer Zulassungsbehörde) die Erfüllung der Anforderungen ebenfalls noch einmal prüft. Erst wenn dies bestätigt worden ist, kann der Change-Request als erledigt gekennzeichnet und geschlossen werden. Ziel eines effizienten Engineering-Change-Managements ist es, die notwendige Kommunikation zwischen dem Antragsteller und der umsetzenden Fachabteilung auf ein Mindestmaß zu reduzieren und gleichzeitig die Anforderungen unmissverständlich zu dokumentieren und effizient zu erfüllen.

Hier liegt ein Kernproblem, denn die zu kommunizierenden Sachverhalte über das Produkt sind für sich schon komplex genug. Die Antwort auf den Change Request hat darüber hinaus eine zusätzliche Dimension: die Kommunikation über die vorgeschlagene Änderung. Um eine Änderung hinreichend zu bewerten und eine Aussage über ihre Angemessenheit zu fällen, muss der Antwort klar zu entnehmen sein, wie der Stand vor und nach der vorgeschlagenen Änderung ist und was die Änderungen genau umfasst. Nur so kann sichergestellt werden, dass die vorgeschlagenen Änderungen nicht zu viel oder wenig umfassen.

Der Zustand vor und nach der Änderung liegt heutzutage oft als 3D-Modell in einem PLM-System vor. Dies kann dann auch als Eingang für die Kommunikation genutzt werden. Richtigerweise erfolgt dann auch die Markierung der Änderungen nicht mehr manuell mit dem digitalen Rotstift. Zu groß sind erstens der Aufwand und zweitens die Gefahr, eine Änderung zu übersehen. Die automatische Erkennung und Markierung der Änderungen auf Basis der 3D-Modelle hingegen ist die Basis für eine in der Erstellung zeitsparenden und in der Deutlichkeit sichere Kommunikationsgrundlage. Die Grundlagen dafür werden auf den folgenden Seiten dargestellt.

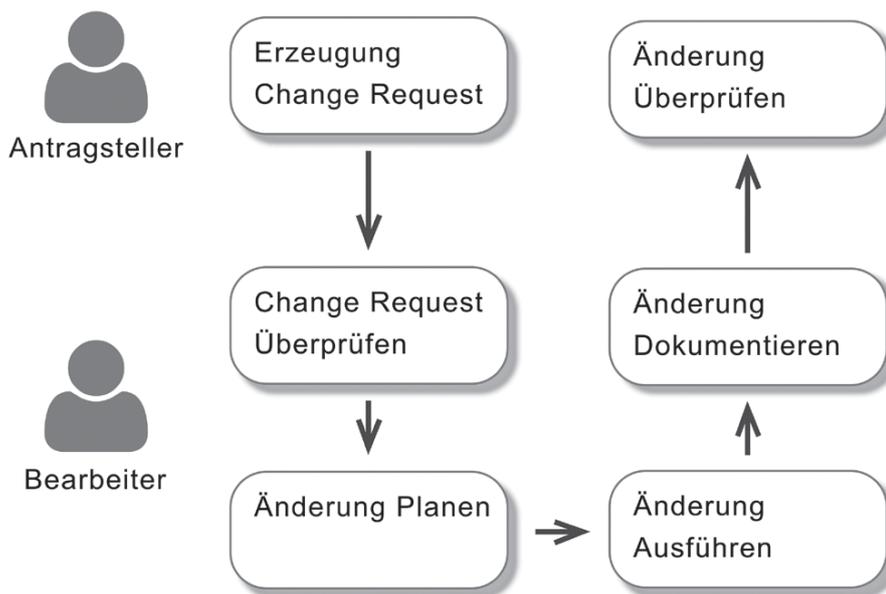


Abbildung 1: Engineering Change Management Prozess Diagramm

2 Delta-Ermittlung und -Darstellung

Um die im Engineering Change Request angeforderte Verbesserung des Produkts zu erreichen, können auf vielen unterschiedlichen Ebenen Änderungen an dem Produkt durchgeführt werden. Beispiele dafür sind

- Änderungen in der Stückliste wie zusätzliche oder wegfallenden Teile
- Änderungen an der Bauteilgeometrie selbst

- Änderungen an Fertigungsinformationen eines Bauteils wie Fasen, Oberflächenqualitäten usw.
- Änderungen an weiteren Metadaten wie Materialqualität

Für jede dieser Ebenen kommen unterschiedliche Techniken zur Ermittlung und Darstellung der Änderung zum Einsatz.

2.1 Stücklistenrelevante Änderungen

Bei stücklistenrelevanten Änderungen werden einzelne Bauteile und Bauteilgruppen in anderen Stückzahlen eingesetzt oder ausgetauscht. Dies kann zum Beispiel der Einsatz einer stärkeren Pumpe oder eine größere Anzahl von Verstärkungen auf einer Platte sein.

Stücklistenrelevante Änderungen sind einfach durch den Vergleich der Baumstruktur vor und nach der Änderung zu identifizieren. Problematisch kann allein die Unterscheidung von echten Änderungen gegenüber reinen Namensänderungen sein, wenn sich das kennzeichnende Merkmal wie die Stücklistennummer ändert. Die Kennzeichnung von stücklistenrelevanten Änderungen geschieht in der Regel durch die Auszeichnung mit entsprechenden Farbcodes oder speziellen Icons. Beispiele hierzu finden sich in Abbildung 2.

2.2 Geometrierelevante Änderungen

Bei geometrierelevanten Änderungen wird ein Bauteil ganz oder teilweise in seiner Form geändert, zum Beispiel durch das Einbringen von zusätzlichen Löchern, Änderung von Wellendurchmessern oder einer neuen Gehäuseform.

Für das Erkennen von geometrierelevanten Änderungen ist ein aufwändiger geometrischer Vergleich des Zustands vor und nach der Änderung notwendig. Hierbei reicht es in der Regel nicht aus, die interne Darstellung der CAD-Modelle direkt miteinander zu vergleichen, da zum Beispiel eine Änderung an der Bauteiltopologie oder den Parametern nicht notwendigerweise eine Änderung der resultierenden Bauteilgeometrie hervorruft. Deshalb müssen für einen

effektiven Vergleich für Ingenieurzwecke die resultierenden Geometrien und die Unterschiede zwischen den beiden betrachtet werden. Hierbei kann die Anzahl der Meldungen durch die Wahl geeigneter Toleranzen gesteuert werden.

Als Ergebnis des Geometrievergleichs erhält man drei Datensätze:

- Bestandsoberflächen enthalten alle Oberflächen, die unverändert vor wie nach den Änderungen im Bauteil enthalten sind
- Wegfallende Oberflächen, die nur vor den Änderungen in der Bauteilgeometrie enthalten sind
- Hinzukommende Oberflächen, die nur nach den Änderungen in der Bauteilgeometrie enthalten sind

Zur Kennzeichnung der Bauteilgeometrie und der Änderung wird auf eine farbliche Kennzeichnung sowie das Ein- bzw. Ausblenden der Oberflächensätze zurückgegriffen. Damit erschließt sich dem Betrachter sofort, an welcher Stelle eine Änderung erfolgt ist. Beispiele hierzu finden sich in Abbildung 3.

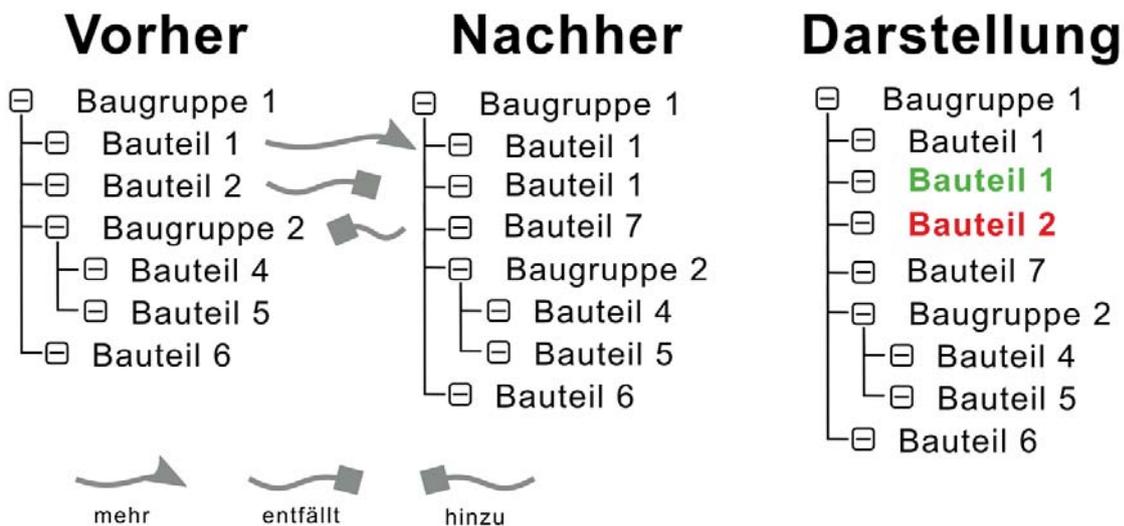


Abbildung 2: Ermittlung und Darstellung von Stücklisten-relevanten Änderungen

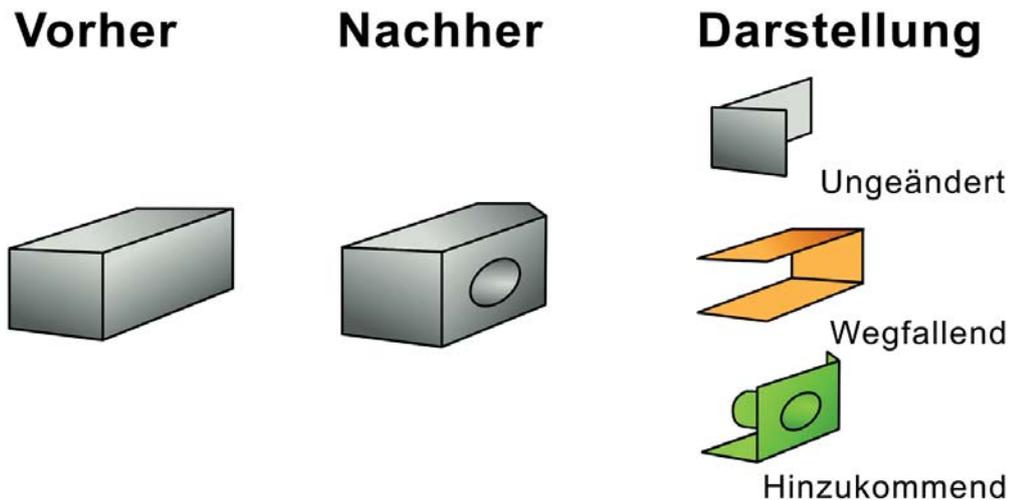


Abbildung 3: Ermittlung und Darstellung von Geometrie-relevanten Änderungen

2.3 Fertigungsrelevante Änderungen

Auf dem Weg zu zeichnungslosen Prozessen werden immer mehr fertigungsrelevante Informationen im 3D-Modell hinterlegt. Das geht von Informationen über Oberflächengüten oder Passungen bis hin zu generische Texten. Änderungen können entweder das Einbringen oder Wegfallen dieser Informationen oder die Änderungen zum Beispiel an der Oberflächengüte sein.

Da es sich hier um textuelle Informationen handelt, ist die Erkennung der Änderungen vergleichsweise einfach. Ein einfacher Textvergleich ergibt wieder die drei Datensätze (unverändert, weggefallend, hinzukommend). Die Darstellung der Fertigungsinformationen geschieht in der Regel über PMIs (Product and Manufacturing Information), die als 2D-Informationen im 3D-Modell platziert werden. Sie können dem Anwender wieder über Ein- bzw. Ausblenden und farbliche Kodierung dargestellt werden.

2.4 Metadaten-Änderungen

Eine weitere Informationsquelle sind die zunehmend wichtiger werdenden Metadaten aus dem CAD-, PDM- und ERP-System. Abhängig von den eingesetzten Systemen und ihrer Konfiguration können hier zum Beispiel Informationen

über Materialqualitäten, Freigabestatus oder Fremdteile bereitstehen. Gerade im Stahlbau überschneiden sich die Metadaten auch mit den geometrischen Änderungen. Eine Steife mit einer anderen Profilhöhle schlägt dann in beiden Kategorien auf.

Da es sich hier um textuelle Information handelt, ist die Erkennung der Änderungen wiederum einfach. Ein Textvergleich ergibt wieder die drei Datensätze (unverändert, weggefallend, hinzukommend). Für die Darstellung bieten sich Tabellen mit den Metadaten für das jeweils betrachtete Bauteil an.

3 Anwendung

Eine industrielle Umsetzung der skizzierten Ideen findet sich in dem PDF-Generator 3D der PROSTEP AG. Hierbei handelt es sich um eine vollautomatisch ablaufende Konvertierungsstrecke, die die Informationen aus allen gängigen Datenformaten (nativ oder neutral) der branchenüblichen CAD-, PLM- und ERP-Systeme in Form eines 3D-PDF-Dokuments zusammenfasst. Dieses 3D-PDF-Dokument enthält dann die kompletten Änderungsinformationen mit den Zuständen davor und danach, sowie eine eindeutige Kennzeichnung des Deltas.

Das PDF-Format hat für den Vergleich von Änderungsständen zwei wesentliche Vorteile gegenüber anderen Visualisierungsformaten:

- **Kombination aus 3D-Geometrien und textuellen Informationen:** Das PDF-Format unterstützt eine beliebige Kombination von Informationen aus 3D-Modellen, 2D-Zeichnungen und textuellen Elementen. Damit können alle oben beschriebenen Änderungsinformationen in demselben Dokument transportiert und in derselben Anwendung betrachtet werden.
- **Anwendungsspezifische Benutzerinteraktion:** Das PDF-Format unterstützt Benutzerinteraktionen durch anwendungsspezifische Schaltflächen und Logik. Damit können Buttons zum Ein- und Ausblenden der verschiedenen Änderungsstände usw. direkt im Dokument hinterlegt werden.

Die Erstellung des Änderungsdocumentes läuft dabei unabhängig von den eingesetzten Quellsystemen immer nach dem gleichen Schema ab. Zuerst werden die notwendigen Informationsstände vor und nach der Änderung aus den Systemen ausgeleitet. Dies geschieht abhängig von den eingesetzten Werkzeugen entweder durch regelmäßige Snapshots oder eine on-demand Ausleitung des historischen und aktuellen Stands. Anschließend werden mit den oben beschriebenen Methoden automatisch die zwischen den beiden Ständen durchgeführten Änderungen ermittelt. Die Änderungsermittlung geschieht dabei innerhalb des 3D-PDF-Dokuments und bedarf dementsprechend keiner Lizenzen in den Autorensystemen. Die automatische Ermittlung des Deltas ist nicht nur eine reine Arbeitersparnis, es ermöglicht auch eine hohe Prozesssicherheit, da keine Änderungen in Vergessenheit geraten können. Nach der Deltaermittlung werden dann die ermittelten Informationen automatisch in das PDF-Template eingebracht und das Dokument erzeugt.

Ein solches Beispiel ist in Abbildung 4 zu sehen, es enthält sowohl eine Ansicht des 3D-Bauteils, eine Ansicht von 2D-Informationen sowie spezielle Schaltflächen um die Delta-Ansicht für das 3D zu steuern. Als Basis für die 3D-Ansicht sind dabei, wie oben besprochen, die unveränderten, wegfallenden und hinzukommenden Flächen enthalten. Sie lassen sich über die Ansichtsteuerung ein- und ausschalten. Damit lassen sich sowohl die Geometrie vor und nach der Änderung sowie die ausgeführten Änderungen betrachten. Gegenüber dieser rein summarischen Ansichtsteuerung lässt sich mit der Highlight-Steuerung durch die individuellen Änderungen durchschalten. Damit kann jede Geometrieänderung einzeln betrachtet werden.

4 Fazit

Auf Basis der automatischen Deltaermittlung lassen sich ohne manuellen Aufwand aussagekräftige Dokumente erstellen, die eine sichere Kommunikation zwischen den verschiedenen Beteiligten an einem Change Request gewährleisten. Dafür sorgt auf der einen Seite die Reduktion der vorhandenen Information auf die tatsächlich geänderten Teile des Gesamtprodukts. Auf der anderen Seite ermöglichen die verschiedenen Darstellungstechniken im 3D- und 2D-Bereich, dass die Änderungen durch den Empfänger sicher identifiziert werden können. Dies ist eine Grundvoraussetzung, damit sie auch inhaltlich verstanden werden. Missverständnisse zwischen Sender und Empfänger der Änderungen werden damit vermieden. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn die zu informierende Partei ein echter Stakeholder im Prozess ist.

Aus diesen Gründen wird die 3D-PDF-Technologie seit diesem Jahr von einer deutschen Werft genutzt, um geplante Änderungen an die Klassifikationsgesellschaft zu kommunizieren. Gegenüber dem lange Zeit genutzten Rotstift auf Zeichnungen und Spezifikationen bietet das 3D-PDF einen echten Mehrwert, ohne aufwändige Geräte oder gar eine permanente Netzanbindung zum Nutzen der Informationen zu benötigen.

Visualisierungstechnologien

Visualisierung einer komplexen Offshore-Konverterplattform in interaktiven Frameraten

Sven Kluge, Stefan Gladisch

Maritime Graphics

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD

Joachim-Jungius-Straße 11

18059 Rostock, Deutschland

sven.kluge@igd-r.fraunhofer.de

stefan.gladisch@igd-r.fraunhofer.de

Abstract: Die Visualisierung von 3D-CAD Daten in der maritimen Industrie ist sinnvoll, um die Prozesse in den späten Phasen des Produktlebenszyklus, wie z. B. Training oder Nachrüstung, zu unterstützen. Eine wesentliche Herausforderung ist die Visualisierung sehr großer Datensätze in interaktiven Frameraten.

In diesem Artikel werden laufende Arbeiten des Fraunhofer IGD im Rahmen des Projekts OWS – Offshore Wind Solutions¹ vorgestellt, welche das Ziel haben, eine komplexe Offshore-Konverterplattform so zu visualisieren, dass interaktive Schulungen am virtuellen Produkt realisiert werden können. Es wird gezeigt, wie dieses Ziel durch effektive Reduktion der Renderinglast mittels Culling, Level of Detail und Renderingbudgetierung über die Zeit erreicht werden kann.

1 Einleitung

In der maritimen Industrie haben sich 3D-CAD-Daten als Basis der Arbeiten von der Konstruktion eines Produkts bis hin zum Bau etabliert. Darüber hinaus

¹ Die Arbeiten des Fraunhofer IGD im Regionalen Wachstumskern Offshore Wind Solutions Mecklenburg-Vorpommern werden vom BMBF unter Kennzeichen 03WKCR2E gefördert.

wurde das Potential der Visualisierung dieser 3D-Daten zur Unterstützung der Prozesse in den späteren Phasen des Produktlebenszyklus gezeigt (z. B. Training, Nachrüstung) [LRD+15][LMB15][LVM14]. Ein wichtiges Konzept dabei ist die Überführung der CAD-Daten in ein flexibles Visualisierungsformat, was nur noch notwendige und gewünschte Informationen enthält, wie z. B. Struktur und Aussehen. Wie in [FLL+11] evaluiert, eignen sich hierfür z. B. X3D, VRML oder JT. Selbst nach einer solchen Konvertierung und Reduktion der Datenmenge kann es immer noch herausfordernd sein, eine Visualisierung in interaktiven Frameraten zu erzeugen, was für viele Anwendungen eine wesentliche Anforderung ist. Der Grund dafür sind großvolumige CAD-Daten, welche selbst in dem überführten Format noch mehrere Gigabyte umfassen. Für eine interaktive Darstellung von Daten in dieser Größenordnung sind weitere Schritte notwendig, um die Renderinglast zu reduzieren.

In diesem Artikel werden laufende Arbeiten des Fraunhofer IGD im Rahmen des Projekts OWS – Offshore Wind Solutions vorgestellt, welche das Ziel haben, eine sehr komplexe Offshore-Konverterplattform in interaktiven Frameraten zu visualisieren, sodass virtuelle Schulungen realisiert werden können.

2 Problemanalyse

Aktuell wird von Nordic Yards in Rostock eine neue Offshore-Konverterplattform mit der Kennzeichnung DolWin gamma gebaut, welche später in der südwestlichen Nordsee zum Einsatz kommen wird (siehe Abbildung 1). Um verbesserte Möglichkeiten zur komplexen Schulung von Wartungs- und Servicepersonal zu bieten, soll eine Visualisierung der Daten bereitgestellt werden, welche die Interaktion mit der virtuellen Umgebung in Echtzeit zulässt und für Plattformen mit unterschiedlich leistungsfähiger Hardware skaliert. Insbesondere soll es möglich sein, virtuell durch die Konverterplattform zu laufen und an bestimmten Bauteilen annotierte Dokumente (z. B. Montageanleitungen oder Hinweise zur Benutzung) zu öffnen bzw. neue zu hinterlegen. Dazu ist es erforderlich, die CAD-Daten des Bauwerks so früh wie möglich in ein Visualisierungsformat zu überführen und sie effizient darzustellen. Die Darstellung selbst sollte dabei möglichst detailgetreu sein, damit sie einen hohen Wiedererkennungswert bietet.

Eine wesentliche Herausforderung bei der Darstellung ist die zu verarbeitende Datenmenge auf der GPU. Die in X3D überführten CAD-Daten besitzen immer

noch eine Größe von 8 GB, wodurch ein naives Rendering aller Objekte in interaktiven Frameraten nicht mehr möglich ist. Um dieser Anforderung zu genügen, muss die gleichzeitig zu visualisierende Datenmenge sinnvoll eingeschränkt werden.



Abbildung 1: Foto der zu visualisierenden Offshore-Konverterplattform

3 Stand der Technik

Zur Reduktion der Renderinglast in komplexen 3D-Szenen haben sich zwei wesentliche Strategien durchgesetzt: Das **Culling**, bei dem nicht sichtbare Objekte frühzeitig verworfen werden und das **Level of Detail**, bei dem weniger relevante Objekte (z. B. Objekte mit zunehmender Entfernung zum Betrachter) weniger detailliert dargestellt werden. Eine dritte Möglichkeit ist, die Renderinglast über die Zeit (mehrere Frames) aufzuteilen. Nachfolgend werden wesentliche Ansätze aller drei Strategien zusammengefasst.

3.1 Culling

Beim Culling unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Verfahren: **Frustum Culling**, **Backface Culling** und **Occlusion Culling** [CCS+02].

Beim Frustum Culling (Abb. 2a) werden Objekte bestimmt, welche außerhalb des aktuellen Frustums liegen und damit nicht sichtbar sind. Anschließend werden diese Objekte für den weiteren Renderingsprozess verworfen.

Ziel des Backface Cullings (Abb. 2b) ist es, Dreiecke von verdeckten Flächen (Rückseiten) sichtbarer Objekte zu identifizieren und diese entsprechend vom Rendering auszuschließen.

Beim Occlusion Culling (Abb. 2c) werden ganze (Teil-)Objekte bestimmt, welche aktuell von anderen Objekten verdeckt werden und nicht weiter behandelt werden müssen.

Die drei Arten des Cullings lassen sich zusammen einsetzen, um die Rendering-performance zu steigern.

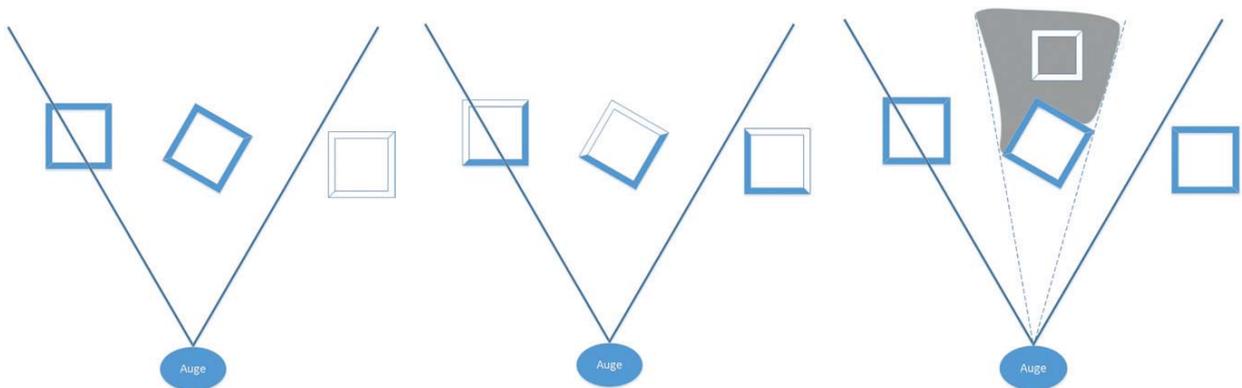


Abbildung 2: (a) Frustum Culling: Objekte außerhalb des View Frustums werden ausgeblendet;
(b) Backface Culling: Flächen, die der Kamera abgewandt sind werden ausgeblendet;
(c) Occlusion Culling: verdeckte Objekte werden ausgeblendet

3.2 Level of Detail (LOD)

Auf konzeptueller Ebene kann man zwei Klassen von LOD-Ansätzen unterscheiden: *diskretes LOD* und *kontinuierliches LOD*.

Beim diskreten LOD wird der Raum zur Laufzeit in eine endliche Anzahl von Regionen unterteilt, denen anschließend ein zuvor berechneter, diskreter Detailgrad zugeordnet wird. Objekte der Szene werden dann entsprechend des De-

tailgrades ihrer Region gerendert (Abb. 3). Für Szenen mit einer Vielzahl von Objekten eignet sich das *hierarchische LOD*, was verschiedene Detailgrade hierarchisch aggregierter Objekten verwendet [EM00].

Beim kontinuierlichen LOD wird eine Datenstruktur verwendet, mit der zur Laufzeit kontinuierlich Detailgrade für Objekte berechnet werden. Dadurch können, im Vergleich zum diskreten LOD, Ergebnisse mit besserer visueller Qualität erzielt werden. Der Berechnungsaufwand ist aber höher. Eine Form des kontinuierlichen LOD ist das *blickpunktabhängige LOD*, bei dem Regionen einzelner Objekte abhängig vom Blickpunkt unterschiedlich detailliert dargestellt werden [Le02, EB02, LE97].



Abbildung 3: Level of Detail;
(a) LOD0 - hohe Details; (b) LOD1 - mittlere Details; (c) LOD2 - wenig Details

3.3 Renderingbudgetierung über die Zeit

Stein et al. beschreiben in [SLT+15] einen Ansatz, bei dem das Rendering auf nachfolgenden Frames verzögert wird, wenn ein bestimmtes Renderbudget überschritten wird. Das Renderbudget wird adaptiv, abhängig von der gegebenen Hardware, bestimmt. Durch diese Darstellung von Datenteilmengen in einem Frame kann Interaktivität garantiert werden, auch wenn die darzustellende Datenmenge insgesamt zu groß ist.

4 Ansatz

Um die Visualisierung der Offshore-Konverterplattform in interaktiven Frameraten zu realisieren, wird die Renderinglast durch den kombinierten Einsatz der in Abschnitt 3 beschriebenen Culling-Techniken sowie der Verwendung eines geeigneten LOD möglichst stark reduziert. Weiterhin wird das Verfahren zur Renderingbudgetierung über die Zeit als Fallback eingesetzt. In Situationen, in denen Culling und LOD nicht für ausreichend Renderperformance sorgen, kann so die Offshore-Konverterplattform trotzdem in interaktiven Frameraten dargestellt werden (z. B. bei Verwendung leistungsschwacher Hardware).

Für das Frustum und Occlusion Culling wird der *CHC++-Algorithmus* von Mattausch et al. [MB+08] verwendet. Dieser Algorithmus bestimmt verdeckte Objekte mit Hilfe von *Occlusion Queries* [HSL+02]. Außerdem kommt ein effizientes Batch-Rendering zum Einsatz, das die Anzahl der Draw-Calls auf der Grafikkarte geringhält und somit die Renderingperformance verbessert.

Der CHC++-Algorithmus verwendet als Grundlage eine räumliche Struktur, auf der alle Objekte der Szene traversiert werden können. Im vorliegenden Projekt wurde dafür der *R-Tree* gewählt. Dieser ermöglicht es, den Raum in möglichst kleinen Bounding Boxes zusammenzufassen, sodass während des Cullings die Objekte ganzer Teilbäume verworfen werden können.

Es ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass große Objekte, die näher an der Kamera liegen, potentiell andere, weiter entfernte Objekte verdecken. Um die Entfernung der Objekte zur Kamera zu bestimmen wird deshalb eine Front-to-Back-Sortierung aller Objekte in der Szene benötigt. Wir verwenden für diesen Zweck den effizienten *Sweep/Sort-Algorithmus* von Gurrett et. al. [GR00].

Das Backface-Culling wird über die entsprechende Fixed Function der Grafikkarte realisiert.

Da die gesamte Konverterplattform aus ca. einer Million Einzelobjekten besteht, wäre es enorm rechenaufwendig und speicherintensiv, ein kontinuierliches LOD zu verwenden. Über ein diskretes LOD können die verschiedenen Detailstufen vorberechnet werden und erzeugen keine zusätzliche Rechenlast zur Laufzeit. Aus diesen Gründen wurde sich für den Einsatz eines diskreten LOD entschieden.

5 Implementierung

Als Basis für die Implementierung des vorgestellten Ansatzes wird die Unity3D Engine verwendet. Diese bietet bereits effiziente Implementierungen für das Frustum Culling und ermöglicht die einfache Integration eines LOD-Verfahrens. Weiterhin stellt Unity3D Algorithmen zum *physically based Rendering* und zur Kollisionserkennung bereit, was für die realistische Darstellung der Offshore-Konverterplattform sowie für die Interaktion mit ihr notwendig ist. Ein weiterer Vorteil von Unity3D ist, dass neben dem Rendering auf klassischen Desktop-PCs auch VR-Brillen wie Oculus Rift und GearVR nativ unterstützt werden. Dadurch werden immersive VR-Schulungen möglich.

Der CHC++-Algorithmus wurde in Unity3D umgesetzt. Da es in dieser Umgebung keine Möglichkeit gibt auf die nativen Occlusion Query-Funktionen der Hardware zuzugreifen, wurde hier ein eigener Fragment Shader (*mit RandomAccessWriteTarget*) implementiert, der nur auf moderneren Grafikkarten mit Shader Model 5 lauffähig ist. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse des Occlusion Cullings am Beispiel der Offshore-Konverterplattform für ausgewählte Blickpunkte. Wie zu sehen ist, kann die Renderinglast (Anzahl an Vertices/Objekten) um bis zu 90 % reduziert werden. Abbildung 4 illustriert die Auswirkungen des Occlusion Cullings in Kombination mit dem Frustum Culling, angewendet auf einen Datensatz einer kompletten Fähre. Die CAD-Daten der Offshore-Konverterplattform sind vertraulich und dürfen deshalb nicht gezeigt werden.

Modell	Blickpunkt	mit Occlusion Culling		ohne Occlusion Culling	
		Vertices	Objekte	Vertices	Objekte
Konverterplattform	außen	3.915 k	40.070	11.502 k	143.971
	innen	528 k	7.144	4.398 k	61.407
Fähre	außen	7.023 k	10.596	16.384 k	36.251
	innen	1.602 k	1.577	14.331 k	29.711

Tabelle 1: Übersicht der Anzahl der gerenderten Vertices und Objekte für 2 verschiedene Modelle mit jeweils 2 Blickpunkten

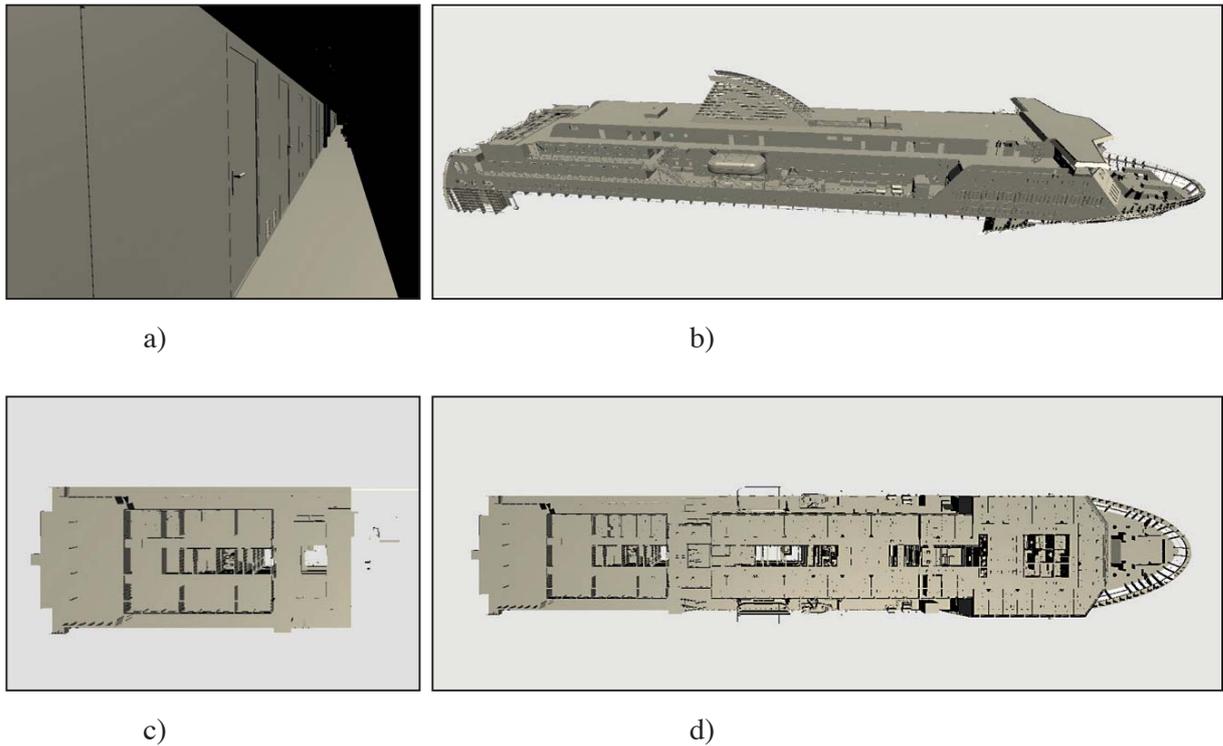


Abbildung 4: (a) Blickpunkt innerhalb des Modells; (b) Gesamtes Modell der Fähre;
(c) Draufsicht auf einen Schnitt durch das Modell mit Occlusion Culling;
(d) Gleiche Sicht ohne Occlusion Culling

Für die Umsetzung der Renderingbudgetierung wurde ein *RenderTarget* verwendet. Für jeden Frame gibt es ein festgelegtes Zeitbudget. Solange dieses nicht überschritten ist, werden die Objekte aus dem CHC++-Algorithmus heraus in das *RenderTarget* gerendert. Wenn das Zeitbudget überschritten wurde, wird das Rendering erst im nächsten Frame fortgesetzt und somit werden die restlichen Objekte über mehrere Frames verteilt gerendert. Das *RenderTarget* wird erst gelöscht, wenn sich der Blickpunkt in der Szene ändert und das Rendering von vorne beginnt.

Zur Unterstützung diskreter LOD-Verfahren besitzt Unity3D bereits die Möglichkeit, für jedes 3D-Objekt, mehrere Detailstufen zu hinterlegen. Im Laufe des Projektes muss die automatische Berechnung der Detailstufen noch umgesetzt werden.

6 Diskussion

Der vorgestellte Ansatz ist nicht auf den hier beschriebenen Anwendungsfall beschränkt und lässt sich generell für die Visualisierung großer CAD-Datensätze verwenden.

Eine Limitierung stellt die Verwendung eines eigenen Fragment Shaders für die Occlusion Queries dar, da dadurch die Anwendung nur auf moderner Grafikkhardware lauffähig ist.

Neben den beschriebenen Ansätzen zur Verringerung der Renderinglast gibt es weitere Verfahren. Dazu zählen z. B. Imposter sowie das Rendering mit reduzierter Auflösung. Diese Techniken eignen sich aber aufgrund der Struktur der Offshore-Konverterplattform nicht bzw. widersprechen der Anforderung nach hoher optischer Qualität.

Ein offener Punkt, der im weiteren Projektverlauf geklärt wird, ist die Verwendung des LOD. Dazu müssen verschiedene LOD-Verfahren untersucht und in Bezug auf ihre Eignung für den vorhandenen Anwendungsfall evaluiert werden. Des Weiteren muss noch geklärt werden, wie später die Beschreibungen der Materialeigenschaften für das realistische Rendering aus Metadaten gewonnen werden können. Dafür soll ein Regelwerk geschaffen werden, dass ein Mapping von Metadaten auf die Materialeigenschaften ermöglicht. Sobald diese Arbeiten abgeschlossen sind werden Interaktionskonzepte entwickelt und umgesetzt, so dass die geplanten virtuellen Schulungen durchgeführt werden können.

Über den Rahmen des OWS-Projektes hinaus wäre es interessant zu untersuchen, ob sich der vorgestellte Ansatz auch zur Visualisierung mit Head Mounted Displays, wie z. B. der Oculus Rift oder HTC Vive, einsetzen lässt.

7 Fazit

Durch den Einsatz von Culling, LOD und Renderingbudgetierung über die Zeit lässt sich die Renderingperformance steigern, sodass auch sehr große CAD-Datensätze in interaktiven Frameraten visualisiert werden können. Dies wurde am Beispiel einer komplexen Offshore-Konverterplattform und einer Fähre gezeigt. Allein durch das Occlusion Culling konnte die Renderinglast (je nach Blickpunkt) um bis zu 90 % reduziert werden. Die Renderingbudgetierung über die Zeit sorgt dafür, dass der Ansatz in Bezug auf zunehmende Datengröße und unterschiedlich leistungsstarke Hardware skaliert.

Literatur

- [CCS+02] Cohen-Or, D.; Chrysanthou, Y.; Silva, C.; Durand, F.: A survey of visibility for walkthrough applications. In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 9, 3, 412-431, 2002.
- [EB02] El-Sana, J.; Bachmat: Optimized view-dependent rendering for large polygonal datasets. In Proceedings of the conference on Visualization. 77-84, 2002.
- [EM00] Erikson, C.; Manocha, D.: Hierarchical Levels of Detail for Fast Display of Large Static and Dynamic Environments. UNC-CH Technical Report TR-00-012, 2000.
- [FLL+11] Friedewald, A.; Lödding, H.; von Lukas, U.; Mesing, B.; Roth, M.; Schleusener, S.; Titov, F.: Benchmark neutraler Formate für den prozessübergreifenden Datenaustausch im Schiffbau. Report 11rp001, Fraunhofer IGD, 2011.
- [HSL+02] Hillesland, K.; Salomon, B.; Lastra, A.; Manocha, D.: Fast and Simple Occlusion Culling using Hardware-Based Depth Queries. Technical Report UNC-CH-TR02-039, University of North Carolina at Chapel Hill, 2002.

- [GR00] Gurret, R.; Rigaux, P.: The Sort/Sweep Algorithm: A New Method for R-tree Based Spatial Joins. In Proceedings of the 12th International Conference on Scientific and Statistical Database Management. 153-166, 2000.
- [MBW+08] Mattausch, O.; Bittner, J.; Wimmer, M.: CHC++: Coherent Hierarchical Culling Revisited. In Computer Graphics Forum 27, 2, 221-230, 2008.
- [Le02] Levenberg, J.: Fast view-dependent level-of-detail rendering using cached geometry. In Proceedings of the conference on Visualization. 259-266, 2002.
- [LE97] Luebke, D.; Erikson, C.: View-dependent simplification of arbitrary polygonal environments. In Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 199-208, 1997.
- [SLT+15] Stein, C.; Limper, M.; Thoener M.; Behr, J.: hare3d - Rendering Large Models in the Browser. In WebGL Insights, CRC Press, 317–332, 2015.
- [LVM14] von Lukas, U.; Vahl, M.; Mesing, B.: Maritime Applications of Augmented Reality – Experiences and Challenges. In Proceedings of the 6th International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications of Virtual and Augmented Reality. Randall Shumaker and Stephanie Lackey (Eds.), Vol. 8526. Springer-Verlag New York, 465-475, 2014.
- [LMB15] von Lukas, U.; Mahnke, E.; Bauer, K.: 3D beyond CAD – Supporting the Lifecycle of Maritime Assets with Lightweight 3D Formats and Lightweight Application Provisioning. Go-3D – Computergraphik für die Praxis, 2015.
- [LRD+15] von Lukas, U.; Ruth, T.; Deistung, E., Huber, L.: Leveraging the Potential of 3D Data in the Ship Lifecycle with Open Formats and Interfaces. In Bertram, Volker (Ed.): COMPIT' 15: 14th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg, 318-330, 2015.

3D-Visualisierung von Über- und Unterwasserfahrzeugen zur Evaluation von Steuerungsalgorithmen mithilfe einer Game-Engine

Tobias Theuerkauff, Tobias Werner, Frank Wallhoff, Thomas Brinkhoff

Abteilungen Geoinformation und Technik und Gesundheit für Menschen Institut für

Technische Assistenzsysteme (ITAS)

Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)

Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth

Ofener Straße 16/19

26121 Oldenburg, Deutschland

tobias.theuerkauff@jade-hs.de

tobias.werner@jade-hs.de

frank.wallhoff@jade-hs.de

thomas.brinkhoff@jade-hs.de

Abstract: Simulationen von Über- und Unterwasserfahrzeugen erfolgen bislang durch eine Kombination unterschiedlicher Softwarebibliotheken. Game-Engines schaffen unter möglichst realen Bedingungen eine virtuelle Welt und bündeln physikalische Modelle und Visualisierung in einem Softwareprodukt. Sie bieten somit die Grundfunktionalitäten zur Durchführung von Simulationen. Mit dem Ziel, eine Evaluation von Steuerungsalgorithmen vorzunehmen, fokussiert sich dieser Beitrag auf den Aspekt der Visualisierung von Über- und Unterwasserfahrzeugen in einer möglichst realitätsnahen Umgebung. Hierfür werden verschiedene Geländemodelle eingebunden, in denen ein Fahrzeug durch eine Netzwerkschnittstelle positioniert und gesteuert werden kann.

1 Motivation

Mit autonomen Unterwasserfahrzeugen (AUV) lassen sich Anwendungsfelder abdecken, bei denen bislang typischerweise ferngesteuerte Unterwasserroboter (ROV) zum Einsatz kommen. Ein Beispiel umfasst die Inspektion von Pipelines unter Wasser [FNR+15]. Unbemannte Überwasserfahrzeuge (USV) unterstützen dabei u. a. bei der Lokalisierung von Unterwasserfahrzeugen. Besonders die Weiterentwicklung im Bereich der dreidimensionalen Rekonstruktion von Objekten mithilfe von optischen Sensoren erlaubt die Erschließung neuer Anwendungsfelder [LLS17]. Dabei wird eine Software zur Steuerung von Fahrzeugen benötigt, die unter Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse auf die speziellen Anforderungen einer Mission angepasst ist. Vor dem praktischen Einsatz sollte frühzeitig eine Erprobung der Steuerungssoftware innerhalb einer virtuellen Simulationsumgebung erfolgen. Die visuelle Repräsentation einer Mission unterstützt dabei die Evaluation des Fahrzeugverhaltens. Die spezifischen Softwareprodukte stellen in der Regel eine Kombination aus mehreren unterschiedlichen Softwarebibliotheken dar, die entweder einen einzelnen Teilaspekt der Simulation abbilden oder die Anwendung um zusätzliche Funktionalitäten ergänzen (siehe Kapitel 2).

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Simulationsmöglichkeit auf Basis einer Game-Engine zu entwickeln. Der Fokus liegt auf dem Teilaspekt der Visualisierung von Über- und Unterwasserfahrzeugen. Es sind sowohl Szenarien, wie das Testen von Steuerungsalgorithmen einzelner Fahrzeuge, als auch Missionen mit dem kombinierten Einsatz mehrerer Fahrzeuge (z. B. Leader-Follower-Mission) evaluierbar. Als Game-Engine wird die Unreal-Engine verwendet. Die Arbeit ist eine Ausgliederung aus dem Projekt „Entwicklung innovativer Technologien für autonome maritime Systeme“ (EITAMS)¹.

Bei einer Game-Engine handelt es sich um ein umfangreiches Softwaresystem, das ursprünglich als Grundlage zur Umsetzung von Computerspielen entwickelt wurde. Häufig eingesetzte Engines wie Unity, Unreal oder Cryengine stellen ein Gesamtprodukt dar, das u. a. physikalische Modelle, Schnittstellensysteme und einheitliche Programmierstrukturen in einem homogenen System vereint und gebündelt zur Verfügung stellt [CK17].

¹ <http://eitams.de/>

Zu Beginn werden bestehende Simulationsumgebungen und verwandte Arbeiten vorgestellt. In Abschnitt 3 erfolgt eine Definition der Funktionen, über die das Zielsystem verfügen soll. Abschnitt 4 befasst sich mit der Visualisierung von Geländemodellen auf Basis von drei unterschiedlichen Datengrundlagen. Nachdem anschließend auf die Umsetzung von Über- und Unterwasserfahrzeugen eingegangen wird, erfolgt in Abschnitt 6 eine Zusammenfassung mit Ausblick auf zukünftige Arbeiten.

2 Verwandte Arbeiten

Watanabe et al. entwickeln auf Basis des Roboter-Simulators Gazebo² und der Softwarebibliothek Rock³ eine Möglichkeit zur echtzeitbasierten Simulation und Visualisierung von AUVs. Sie ermöglichen dabei u. a. die Integration physikalischer Wassermodelle und eine Echtzeitvisualisierung auf Basis der Bibliothek OpenSceneGraph⁴. Innerhalb der physikalischen Modelle der Wasserbeschaffenheit wurden zunächst Strömung und Trägheit sowie der Auftrieb von Körpern modelliert. Die Anbindung von Sensoren, wie einer RGB-Kamera und einem Sonargerät, ist geplant. Die Arbeit ist ein Teil des FlatFish-Projektes⁵, das die Entwicklung eines autonomen Unterwasserfahrzeuges zum Ziel hat. Mit ihm soll die Inspektion von Unterwasserstrukturen im Öl- und Gas-Segment ermöglicht werden [WNC+15].

Prats et al. verwenden als Grundlage zur Visualisierung von Unterwassermissionen ebenfalls die OpenSceneGraph-Bibliothek. Mit dem quelloffenen UWSim⁶ stellen sie eine Möglichkeit zur Simulation und grafischen Darstellung von Unterwassermissionen bereit. Für die Steuerung virtueller Unterwasserfahrzeuge und die Verteilung simulierter Sensordaten erfolgt der Einsatz einer netzwerkbasierter Schnittstelle. Das Unterwassergeländemodell kann der Nutzer per XML-Datei konfigurieren. Es können Parameter wie z. B. Wasseroberfläche, Sicht unter Wasser und Partikel im Wasser definiert werden. Der Unterwasserroboter ist ebenfalls über eine XML-Datei anpassbar. Standardmäßig wird ein Unterwasser-

² <http://gazebosim.org/>

³ <http://rock-robotics.org>

⁴ <http://www.openscenegraph.org/>

⁵ <http://robotik.dfki-bremen.de/en/research/projects/flatfish.html>

⁶ <http://www.irs.uji.es/uwsim/>

fahrzeug mit sechs Freiheitsgraden in der Bewegung bereitgestellt (6 DOF). In der Software stehen zudem einzeln konfigurierbare Sensoren zur Verfügung, die an die Fahrzeuge gebunden werden können. Es besteht die Möglichkeit, mehrere Roboter innerhalb einer Simulation zu steuern. Durch die eingebundene Physik-Engine `osgBullet` besteht die Möglichkeit, stark vereinfachte, physikalische Aspekte in der Unterwasserwelt zu simulieren [PPF+12].

In dieser Arbeit soll eine Lösung der Problemstellung über eine einzelne Softwarekomponente erfolgen, die alle erforderlichen Aspekte integriert.

3 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit umfasst den Entwurf und die Umsetzung eines Systems, das eine dreidimensionale Visualisierung von Unter- und Überwasserfahrzeugen ermöglicht. Die Evaluation der Steuerungsalgorithmik eines AUVs, ROVs oder USV anhand eines realen Terrains setzt eine möglichst realitätsnahe Modellierung des Geländes unter Wasser voraus. Neben Umgebungseinflüssen wie bspw. Strömungen und Auftrieb stellt dieses Gelände einen wichtigen Parameter für die Unter- und Überwassernavigation dar. Zur Berücksichtigung der Geländesituation erfolgt die Integration virtueller Sensoren, die anhand ihrer modellierten Umgebung entsprechende Messdaten generieren und der Steuerungseinheit bereitstellen. Spezielle Missionen erfordern den Einsatz eines Schwarms von mehreren AUVs, ROVs und USVs. Daher ist das zu entwickelnde System auf die simultane Einbindung mehrerer Instanzen eines Fahrzeugtyps auszurichten. Jedes virtuell abgebildete Vehikel benötigt somit einen eigenen Kommunikationskanal zum Austausch von Steuerbefehlen und gemessenen Sensordaten. Um den Zugriff auf das Visualisierungssystem möglichst interoperabel zu gestalten, wird der Einsatz einer flexiblen und plattformunabhängigen Schnittstelle erforderlich.

In dieser Arbeit wird mit der Unreal-Engine eine der leistungsstärksten Game-Engines eingesetzt. Sie steht quelloffen zur Verfügung und wird laufend weiterentwickelt. Somit können eigene Anpassungen vorgenommen werden. Die Entwicklung der Unreal-Engine⁷ erfolgt durch Epic Games, Inc. Sie setzen die typischen Kernelemente einer Game-Engine (Sound-, Grafik-, Netzwerk- und Physik-Engine) mithilfe von C++ um. Mitgelieferte Editoren erlauben eine An-

⁷ <https://www.unrealengine.com/>

passung von Spielabläufen, graphischen Oberflächen und Gestaltung der virtuellen Welt [CK17]. Für den räumlichen Bezug steht ein metrisches Koordinatensystem zur Verfügung, das als Grundlage zur Georeferenzierung verwendet werden kann. Eine direkte Integration typischer GIS-Datenformate wird nicht unterstützt. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit ist somit die Überführung und Abbildung georeferenzierter Daten in der Unreal Engine, sodass die Positionierung der virtuellen Vehikel sowie die Sensorwerte der emulierten Sensoren der Realität entsprechen. Dies gewährleistet einen Austausch der Simulationssoftware durch die Anbindung realer Vehikel an die Steuerungssoftware.

4 Visualisierung digitaler Geländemodelle

Die Positionierung von Über- bzw. Unterwasserfahrzeugen innerhalb einer virtuellen 3D-Welt erfordert als Grundlage die Abbildung eines Geländes. Während ein digitales Geländemodell (DGM) innerhalb von Geoinformationssystemen oftmals durch ein Triangulated Irregular Network (TIN) repräsentiert und verarbeitet wird [BML15], erlaubt die Unreal-Engine lediglich eine Abbildung von Gelände durch Terrains und Meshes.

- **Meshes** stellen eine Standardmöglichkeit zur Integration von 3D-Elementen dar und können bspw. auf Basis von 3D-Datenformaten wie FBX oder 3DS erzeugt werden.
- **Terrain** benötigt die Eingabe eines Graustufenbilds und ist somit in der Lage, aus 2,5-dimensionalen Daten eine Landschaft zu erzeugen. Dabei erfolgt automatisch eine Interpolation der Höheninformationen

Beide Methoden benötigen zur späteren Positionierung weiterer Elemente eine Georeferenzierung des Modells in einem vereinheitlichten Koordinatensystem.

4.1 Elektronische Seekarte als Basis

Die Electronic Navigational Chart (ENC) ist eine digitale Karte, die unter Verwendung des S-57 Standards zur computergestützten Navigation auf Schiffen eingesetzt wird [SLJ+16]. Innerhalb dieser Arbeit wurde ein Algorithmus implementiert, der in der Lage ist, aus den Tiefeninformationen der ENC-Daten 3D-Punkte zu erzeugen. Aus diesen Punkten wird über den Zwischenschritt einer Triangulation ein Mesh erzeugt und in die Simulationsumgebung eingebunden. Die ENC verwendet in der Regel geographische Koordinaten, die für eine einheitliche Darstellung innerhalb der Visualisierung in UTM-Koordinaten transformiert werden.

4.2 Fächerecholotdaten als Basis

Ein zweiter Ansatz verfolgt die Abbildung des Geländes unter Wasser auf Basis von 2,5D-Punktwolken. Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Bremerhaven generiert im Rahmen der Seevermessung ein digitales Oberflächenmodell aus Fächerecholotdaten. Ein Teilbereich der erzeugten Daten wurde dieser Arbeit als regelmäßiges Raster mit einer Gitterweite von 0,5 m zur Verfügung gestellt. Die ASCII-codierte Punktwolke verwendet als Referenzsystem UTM und bezieht sich auf Normalhöhennull. Ihre Vermaschung und Überführung in das 3D-Datenformat FBX erfolgt als manueller Vorverarbeitungsschritt mithilfe von 3ds Max. Das so erzeugte Mesh kann wiederum in die Simulationsumgebung eingebunden werden.

Das metrische Unreal-Koordinatenreferenzsystem erlaubt für die Georeferenzierung eine direkte Übernahme des Geländemodells ohne eine zusätzliche Transformation zwischen Quell- und Zielkoordinatensystem. Lediglich eine Verschiebung des digitalen Modells zum Koordinatenursprung kann eine Translation notwendig machen. Abbildung 1 zeigt das in Unreal überführte Geländemodell auf Basis der Fächerecholotdaten.

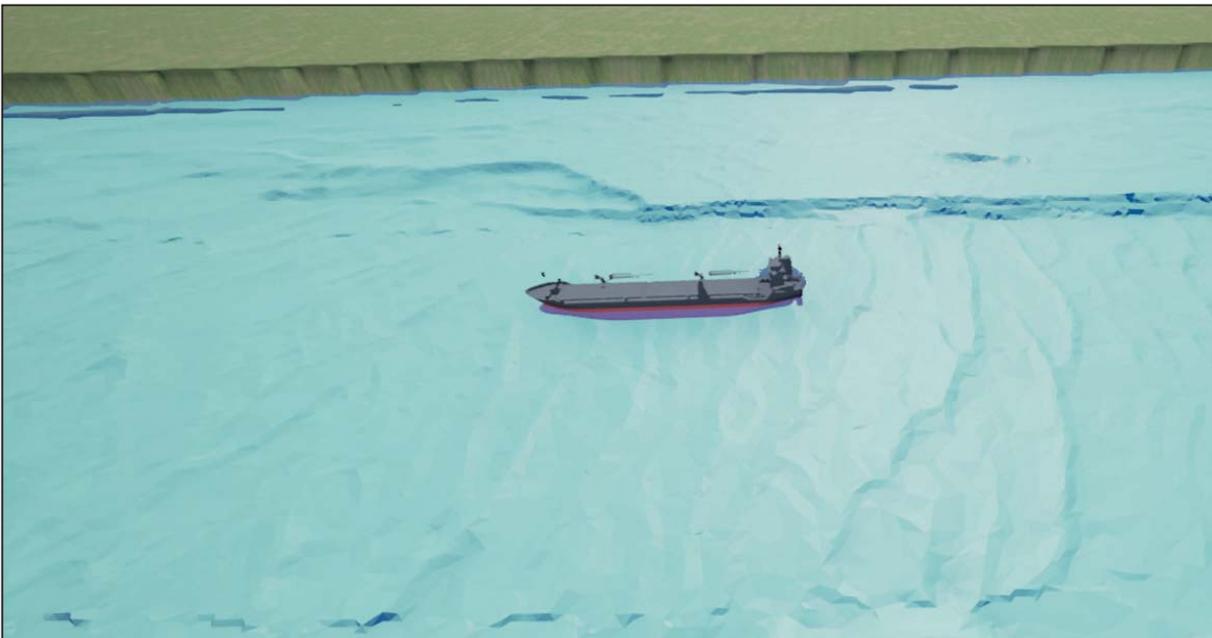


Abbildung 1: Visualisierung des Geländes auf Basis von Fächerecholotdaten

4.3 Fiktive Daten als Basis

Zur Evaluation der Steuerungsalgorithmen ist eine Berücksichtigung von Extremsituationen im Geländemodell erforderlich. Hierfür dient eine virtuelle Welt auf Basis von fiktiven Daten. Ihre Generierung erfordert die Eingabe von Parametern, zu denen die Gebietsausdehnung in Form eines MUR⁸ gehören. Der Nutzer muss eine Ecke des Gebietes anhand von X- und Y-Koordinaten im UTM-Koordinatensystem sowie die Ausdehnung des Gebietes und die minimale und maximale Wassertiefe angeben. Auf Basis dieser Parameter wird eine fiktive Unterwasserwelt mit der zugehörigen Wasseroberfläche generiert.

5 Implementierung von Über- und Unterwasserfahrzeugen

Die Modelle der Fahrzeuge wurden mit der Software Bentley MicroStation sowie der Software 3ds Max von Autodesk erstellt. Für das Überwasserfahrzeug wurde ein Prototyp mit einfachen Geometrien erstellt. Das Unterwasserfahrzeug wurde auf Basis von Originalplänen des OpenROV konstruiert. Beide Modelle wurden in ein geeignetes Dateiformat (FBX) für den Import in die Unreal-Engine exportiert.

⁸ MUR - Minimal umgebendes Rechteck

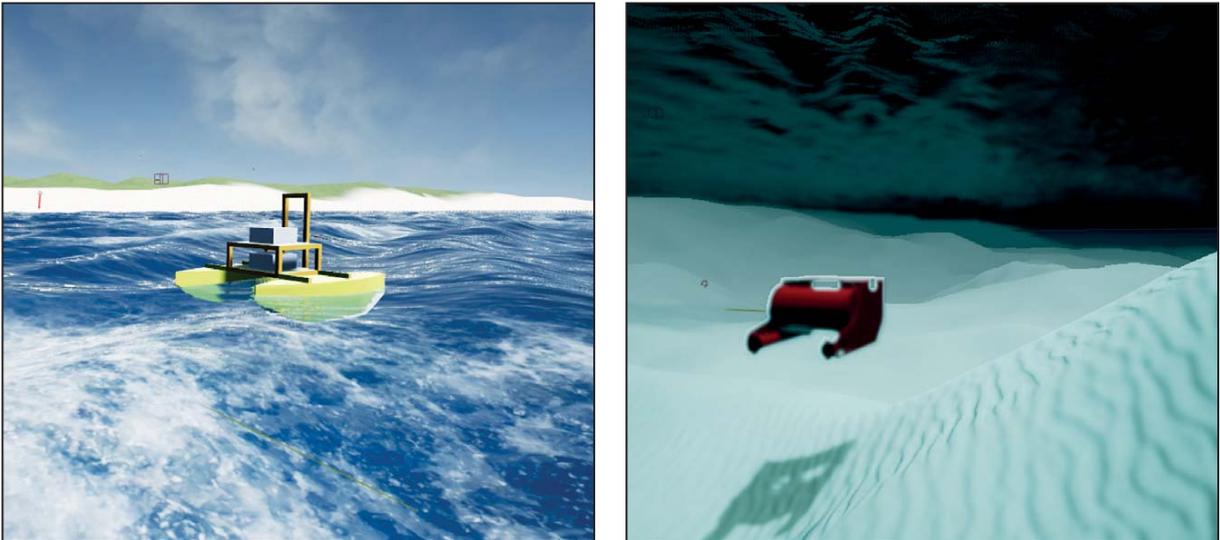


Abbildung 2: Fahrzeuge in der Simulation;
 Links: Überwasserfahrzeug, Rechts: Unterwasserfahrzeug

Die Positionierung der Fahrzeuge wird durch drei verschiedene Ansteuerungsmöglichkeiten erlaubt. Überwasserfahrzeuge können durch GPS-Koordinaten und Beschleunigungsvektoren gesteuert werden. Des Weiteren können einfache Steuerbefehle (vorwärts-, rückwärts- und seitwärtsfahren) an das virtuelle Fahrzeug übergeben werden. Für die Orientierung der Fahrzeuge ist für beide Positionierungsarten zudem die Angabe der Werte von Roll, Pitch und Heading implementiert. Somit können die Fahrzeuge über sechs Freiheitsgrade gesteuert werden. Die Positionierung der Unterwasserfahrzeuge wurde zunächst auf die Angabe von Beschleunigungsdaten sowie auf die Angabe der einfachen Steuerbefehle beschränkt, da die Auswertung von GPS-Koordinaten unter Wasser nicht möglich ist. Die einfachen Steuerbefehle wurden für die Unterwasserfahrzeuge um das Auf- und Abtauchen erweitert. Die Orientierung der Unterwasserfahrzeuge ist wiederum über die Angabe der Roll-, Pitch- und Headingwerte möglich.

Die Unreal-Engine verfügt über Funktionen, die zur Abbildung virtueller Sensoren verwendet werden können. Bspw. lässt sich auf Basis von Line Tracing Algorithmen der virtuelle Abstand zwischen Unterwasserfahrzeug und Gelände bestimmen und somit ein Echolot oder Lidar simulieren. Der Austausch virtueller Sensormesswerte und Steuerbefehle zwischen Engine und Steuerungseinheit geschieht mithilfe einer netzwerkbasierter Schnittstelle. Jedes Fahrzeug verfügt über eine separate Schnittstelle. Somit können mehrere Fahrzeuge parallel in der gleichen Simulationsumgebung mit unterschiedlicher Steuerungssoftware erprobt werden (siehe Abbildung 3).

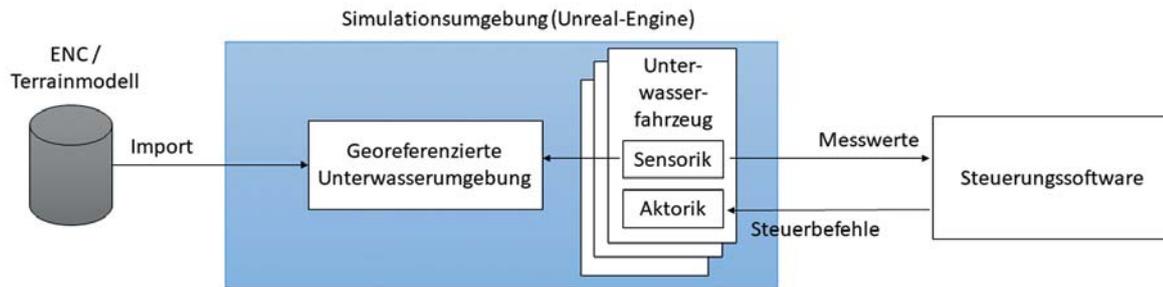


Abbildung 3: Systemarchitektur

Die Steuerungssoftware wurde in Python implementiert und kommuniziert mittels TCP/IP mit der Simulationssoftware. Die einzelnen Steuerbefehle entsprechen den Befehlen, mit denen auch die realen Vehikel angesprochen werden. Über eine Wrapperklasse werden die Befehle für die simulierten Vehikel umgewandelt. So ist sichergestellt, dass die Steuerungssoftware nach der Evaluation in der Simulationsumgebung direkt für die realen Vehikel verwendet werden kann. Die virtuellen Sensoren senden ihre Messwerte ebenfalls über die gleiche Schnittstelle an die Steuerungssoftware, so dass diese in die Steueralgorithmen einfließen können. Die Implementierung der virtuellen Vehikel und Sensoren erfolgte in einem modularen Aufbau. Ein implementierter Sensor kann somit mehrfach an ein beliebiges Vehikel gebunden werden.

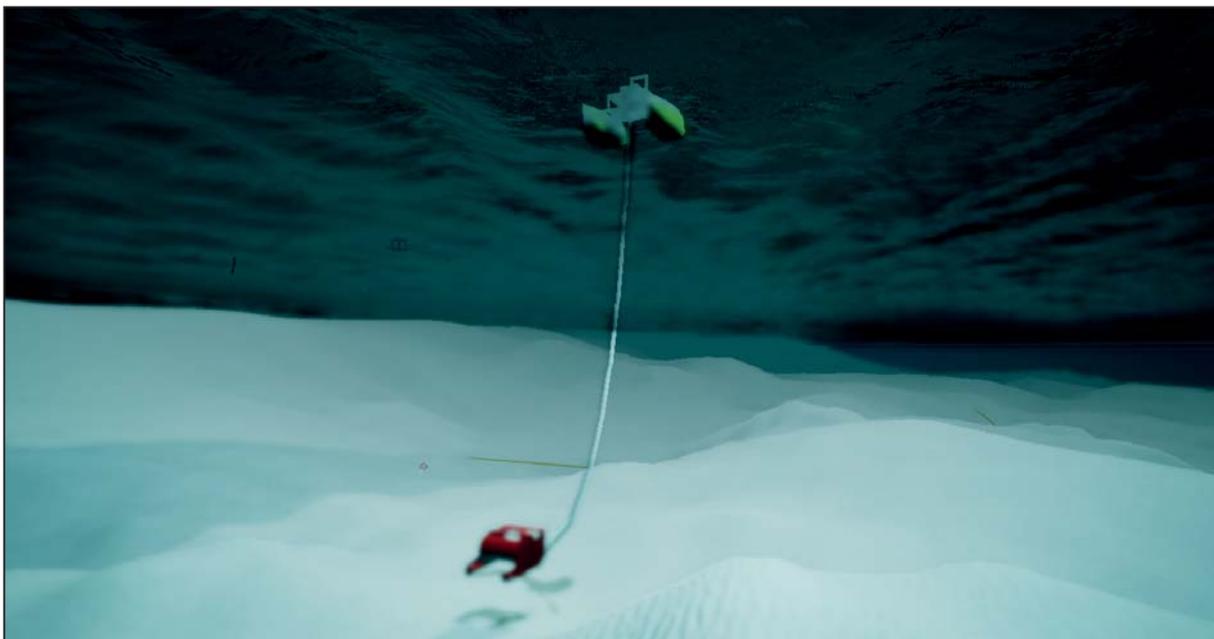


Abbildung 4: Über- und Unterwasserfahrzeug mit Kabelverbindung

6 Zusammenfassung und Ausblick

Während die Simulation von AUV-Missionen typischerweise eine Integration vieler verschiedener Softwarekomponenten benötigt, bündeln Game-Engines die Grundfunktionen zur Durchführung einer Simulation in einem Gesamtprodukt. Speziell die Unreal-Engine ermöglicht eine Visualisierung und Steuerung von Über- und Unterwasserfahrzeugen in virtuellen Welten. Als Geländemodell unter Wasser kann entweder die elektronische Seekarte, eine Punktwolke oder eine fiktive Landschaft verwendet werden. Neben einer realen Umgebung können somit auch Extremsituationen produziert werden, auf die eine Steuerungseinheit reagieren können soll.

Die Visualisierung von Über- und Unterwasserfahrzeugen mithilfe der Unreal-Engine stellt einen ersten Schritt in Richtung Simulation dar. Es wurde in dieser Arbeit die Grundlage für eine Simulationsumgebung geschaffen. Es ist möglich, mehrere Vehikel gleichzeitig in der Visualisierung darzustellen und mit einer externen Steuerungssoftware zu navigieren. Des Weiteren wurden erste virtuelle Sensoren implementiert, die die Messwerte an die Steuerungssoftware zur weiteren Verarbeitung liefern. Mit Bezug auf das Projekt EITAMS untersuchen zukünftige Arbeiten die Fähigkeiten der integrierten Physik-Engine Unreal zur Modellierung von Einflussfaktoren unter Wasser, die zur Evaluation von Steuerungsalgorithmen benötigt werden. Insbesondere soll die Integration von Strömungsmodellen, Trägheits- und Auftriebsfaktoren untersucht werden. Die Abbildung weiterer Sensorik, die Einbindung einer simulierten akustischen Unterwasserkommunikation und die Positionierung über akustische Modems von Unterwasserfahrzeugen stellen die Hauptaspekte von weiterführenden Arbeiten dar. Der Datenvorverarbeitungsschritt zur Integration digitaler Geländemodelle erfolgt derzeit noch manuell. Dieser Prozessschritt ist für eine direkte Einbindung von Geländemodellen zu automatisieren.

Acknowledgement

Diese Arbeit entstand im Zusammenhang mit dem Projekt EITAMS, das von der „Niedersächsischen Vorab“-Stiftung gefördert wird. Des Weiteren wird das Projekt von internen Forschungsmitteln der Jade Hochschule finanziert. Wir danken den Mitgliedern des Projekts „Visualisierung dynamischer Schiffsinformationen“ und dem „Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Bremerhaven“ für die Bereitstellung der digitalen Geländedaten.

Literatur

- [BML15] Burrough, Peter A.; MacDonnell, Rachael A.; Lloyd, Christopher D.: Principles of geographical information systems. Oxford Univ. Press., Oxford, 2015; S. 231-248.
- [CK17] Cowan, B.; Kapralos, B.: An overview of serious game engines and frameworks. In: Intelligent Systems Reference Library 119. Springer International Publishing, Cham, 2017, S. 15-38.
- [FNR+15] Fernandes, Victor Hugo; Neto, Arthur Ayres; Rodrigues, Dalto Domingues: Pipeline inspection with AUV. In: 2015 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). Rio de Janeiro, 2015; S. 1-5.
- [LLS17] Lu, Huimin; Li, Yujie; Serikawa, Seiichi (2017): Computer Vision for Ocean Observing. In (Huimin Lu und Yujie Li): Artificial Intelligence and Computer Vision. Springer International Publishing, Cham, 2017; S. 1-16.
- [MA16] Matej, Jaroslav: Virtual reality and vehicle dynamics in unreal engine environment. In: Modern Machinery Science Journal, Volume 4. Prag, 2016; S. 1141-1144.

- [PPF+12] Prats, Mario; Perez, Javier; Fernandez, J. Javier; Sanz, Pedro J.: An open source tool for simulation and supervision of underwater intervention missions. In: 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Vilamoura-Algarve, Portugal, 2012; S. 2577-2582.
- [SLJ+16] Song, Moonsub; Lee, Kwangil; Jang, Byungtae; Ro, Soonghwan: A Design and Implementation of Lightweight ENC for Android App. In: Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering, Bd. 354. Heidelberg, 2016; S. 137-143.
- [WNC+15] Watanabe, Thomio; Neves, Gustavo; Cerqueira, Romulo; Trocoli, Tiago; Reis, Marco; Joyeux, Sylvain; Albiez: The Rock-Gazebo Integration and a Real-Time AUV Simulation. In: 2015 12th Latin American Robotics Symposium and 2015 3rd Brazilian Symposium on Robotics (LARS-SBR). Uberlandia, 2015; S. 132-138.

Virtuelle Röntgenbilder aus sehr großen CAD-Modellen und Laserscans

Thomas Preidel, Markus Färber, Steffen Cersowsky, Ronny Krüger,
Michael Reeßing, Jens Weggemann

Softvise GmbH
Ehrenbergstraße 11
98693 Ilmenau, Deutschland
thomas.preidel@softvise.de
markus.farber@softvise.de

Abstract: Es wird ein einfaches und effizientes Verfahren vorgestellt, mit dem virtuelle Röntgenbilder aus 3D-CAD-Modellen und 3D-Laserscan-Punktdatensätzen beliebiger Größe zu Prüfungs- und Marketing-Zwecken generiert werden können.

1 Motivation

1.1 Technische Motivation

Im Jahr 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannte Strahlung, und schon im darauffolgenden Jahr fand das Röntgenbild Eingang in die medizinische Diagnostik [Lü14]. Heute ist es ein bewährtes Hilfsmittel in vielen wissenschaftlichen und technischen Bereichen.

Hauptzweck des Röntgenbildes ist die Sichtbarmachung der verborgenen inneren Struktur eines Objektes oder eines Lebewesens, wobei die komplexen dreidimensionalen Strukturen auf ein zweidimensionales Foto projiziert werden. Die

Interpretation eines solchen Bildes ist meist so intuitiv, dass in der medizinischen Diagnostik sogar virtuelle Röntgenbilder erzeugt werden [ERL+13, TAG+17].

Im Kontext sehr großer CAD-Modelle und Laserscans existieren ähnliche Probleme wie in der medizinischen Diagnostik. Enthält ein virtuelles 3D-Modell so viele detaillierte innere Strukturen, dass diese nicht mehr durch einfache Navigation im Modell erschlossen werden können, dann kann ein virtuelles Röntgenbild helfen, die Beziehungen der einzelnen Teile zueinander leichter zu erkennen.

Zusätzlich können die aus den Soll-Daten künstlich generierten Röntgenbilder als Referenzbilder für echte Röntgenbilder der körperlichen Ist-Daten genutzt werden.

Aus den genannten Gründen wurde das Digital-Mockup-System Cadmium, das im Unternehmen der Autoren entwickelt wird, mit einer Funktion zur Erzeugung von virtuellen digitalen Röntgenbildern ausgerüstet.

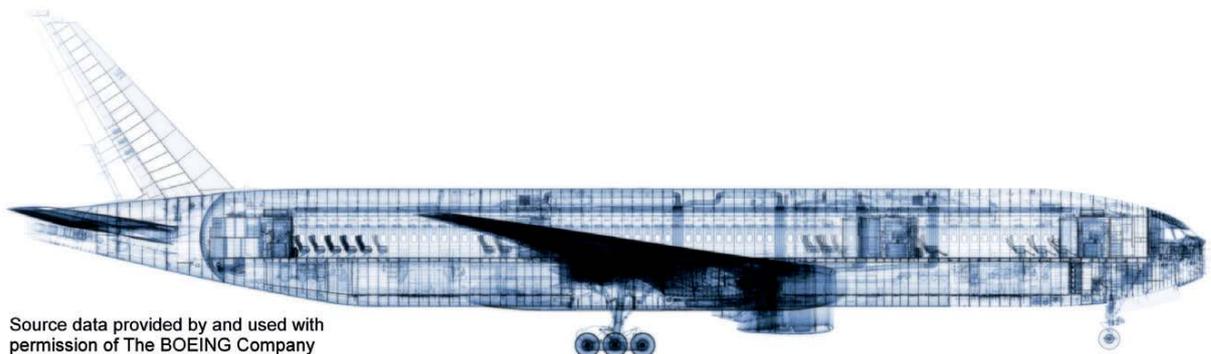


Abbildung 1: Virtuelles Röntgenbild des CAD-Modells der Boeing 777-200

1.2 Marketing-Motivation

Weiterhin bieten virtuelle Röntgenbilder ein Marketing-Potential.

Jedem Betrachter erschließt sich die Bedeutung eines Röntgenbildes unmittelbar. Das Bild verdeutlicht Transparenz des Anbieters gegenüber dem Kunden und es visualisiert den vollständigen Durchblick des Produzenten durch sein Produkt.

Mit dem virtuellen Röntgenbild vermittelt der Anbieter die hohe innere Komplexität seines Produktes und gibt eine intuitiv verständliche Begründung für dessen Wert und den verbundenen Verkaufspreis, ohne jedoch die Details der dargestellten Alleinstellungsmerkmale preiszugeben.

Nicht zu vernachlässigen ist die ästhetische Qualität eines virtuellen Röntgenbildes, sodass dieses gut als Aufmerksamkeitsmagnet dienen kann.

2 Verfahren zur Erstellung virtueller Röntgenbilder

2.1 Grundvoraussetzung: Effiziente Behandlung sehr großer 3D-Datensätze

Die Digital-Mockup-Software Cadmium, die im Unternehmen der Autoren entwickelt wird, ist auf die schnelle Verarbeitung beliebig großer CAD- und Laser-scan-Punkte-Datensätze optimiert. Insbesondere erlaubt die datenbankorientierte Ablage aller gespeicherten Daten minimale Zugriffszeiten und hocheffiziente Verarbeitungsalgorithmen.

Auch sehr große Zwischenergebnismengen – im Falle der Erzeugung virtueller Röntgenbilder eine Menge von Abtastpunkten mit bis zu mehreren Milliarden Elementen – können mit den in der Cadmium-Engine implementierten Werkzeugen problemlos gehandhabt werden.

Das in Abbildung 1 gezeigte virtuelle Röntgenbild des Verkehrsflugzeugs Boeing 777-200 basiert auf einem CAD-Datensatz mit ca. 350 Millionen Dreiecken, für die insgesamt ca. 1 Milliarde Abtastpunkte generiert wurden. Für die Berechnung des Bildes wurden weniger als 20 Minuten Rechenzeit auf einem handelsüblichen PC benötigt.

2.2 Projektion der 3D-CAD-Daten auf eine 2D-Ebene

Ausgangspunkt sind 3D-CAD-Modelle, die in ausreichender Detaillierung in Dreiecksmodelle tesselliert wurden.

Im Unterschied zu deterministischen Verfahren, wie zum Beispiel in [FDL+06], erfolgt die Generierung des virtuellen Röntgenbildes mit Hilfe eines probabilistischen Algorithmus: Für jedes Dreieck werden dazu mit dem in [OFC+02] bzw. in [PCK+15] beschriebenen Verfahren gleichverteilte zufällige Punkte auf der Dreiecksfläche bestimmt.

Die Anzahl n der zu sampelnden Punkte eines Dreiecks $P_a P_b P_c$ wird dabei so gewählt, dass für die gewünschte Auflösung R des Röntgenbildes (in Punkten je Flächeneinheit) mindestens zwei Abtastpunkte generiert werden:

$$n = 2 \frac{A_{P_a P_b P_c}}{R}$$

Die Lage eines Punktes P_i ($1 \leq i \leq n$) bestimmt sich wie folgt:

$$P_i = (1 - \sqrt{r_1})P_a + \sqrt{r_1}(1 - r_2)P_b + \sqrt{r_1}r_2P_c ,$$

wobei r_1 und r_2 gleichverteilte Zufallszahlen zwischen 0 und 1 sind.

Alle abgetasteten Punkte werden mit Hilfe einer isometrischen Projektion auf eine Projektionsebene projiziert.

Anschließend erfolgt die Begrenzung der Projektionsebene auf einen relevanten Bildausschnitt sowie eine Diskretisierung auf die gewünschte Auflösung R .

Auf jedes der Pixel der Projektionsebene fällt nun eine Menge von Abtastpunkten. Die Abstände der Punkte von der Projektionsebene werden in einem Vektor angeordnet und gespeichert. In einem Filterungsschritt werden diese Höhenwerte auf die Auflösung R diskretisiert und die Dopplungen entfernt.

2.3 Projektion der 3D-Laserscan-Punktwolke auf eine 2D-Ebene

3D-Punktwolken können auf dieselbe Art projiziert werden, wobei der Dreiecksabtastungsschritt entfällt.

Allerdings muss sichergestellt sein, dass die gewünschte Bildauflösung nicht höher als die mittlere Punktedichte ist, da ansonsten Sampling-Artefakte im Bild resultieren können.

Modelle, die sowohl CAD-Daten als auch Laserscan-Daten gemeinsam enthalten, werden von Cadmium vollumfänglich unterstützt. Entsprechend ist auch die Erstellung von virtuellen Röntgenbildern für derartige Modelle möglich.



3D laser scan data courtesy of FARO Europe GmbH

Abbildung 2: Projektion eines 3D-Laserscans auf die Grundrissebene

2.4 Bestimmung der Pixelfarbe und Nachbearbeitung

Das auf der Projektionsebene gebildete diskrete Punktedichte-Histogramm wird nun in Grauwerte umgerechnet. Hierfür sind verschiedene Algorithmen bekannt [ERL+13, FDL+06, HFW07]. Sie sind letztlich alle aus dem Lambert-Beerschen

Gesetz der Abschwächung von Strahlen beim Durchgang durch ein absorbierendes Medium abgeleitet. In der realisierten Implementierung wird das einfachste Modell verwendet, die Skalierung der Anzahl von Abtastpunkten, die auf das betrachtete Pixel fallen.

Alternativ ist auch die direkte Verwendung der Punkteanzahl möglich, dann aber in Verbindung mit einem High-Dynamic-Range-Bild und anschließendem Tone-Mapping.

Sofern gewünscht, kann das Bild nun noch invertiert sowie mit weiteren Effekten bearbeitet werden, wie zum Beispiel in Abbildung 3 zu sehen.



Abbildung 3: Detail des Boeing-Röntgenbildes, invertiert und mit Sepia-Effekt

3 Zusammenfassung

Es wurde ein einfaches, probabilistisches und effizient arbeitendes Verfahren vorgestellt, um virtuelle Röntgenbilder von sehr großen CAD- und 3D-Laser-scan-Modellen zu generieren.

Das Verfahren besitzt folgende Vorteile:

- Das zufällige Abtasten vermeidet Sampling-Artefakte (Moiré-Muster)
- Die entstehenden Bilder sind leicht verrauscht, was einen realistischeren Bildeindruck vermittelt.
- Das Verfahren ist für beliebig große Modelle geeignet und kann Bilder beliebiger Auflösung generieren.

Zukünftig mögliche Erweiterungen des Verfahrens wären die Erstellung von High-Dynamic-Range-Bildern oder auch das Hervorheben ausgewählter Teile im Bild zur besseren Verdeutlichung bestimmter Zusammenhänge.

Die Quelldatensätze zur Generierung der in dieser Arbeit dargestellten Bilder wurden freundlicherweise von der BOEING Corporation sowie von der FARO Europe GmbH zur Verfügung gestellt.

Literatur

- [ERL+13] Moritz Ehlke, Heiko Ramm, Hans Lamecker, Hans-Christian Hege, Stefan Zachow: Fast Generation of Virtual X-ray Images for Reconstruction of 3D Anatomy.
In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 19(12):2673-82, December 2013; DOI: 10.1109/TVCG.2013.159.
- [FDL+06] Nicolas Freud, Philippe Duvauchelle, Jean-Michel Létang, Daniel Babinet: Fast and Robust Ray Casting Algorithms for Virtual X-ray Imaging.
In: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 248(1): 175-180, 2006.

- [HFW07] Shin Hasegawa, Hidetaka Funayama, Daming Wei:
A Shader for Virtual X-Ray Imaging.
In: 7th IEEE International Conference on Computer and Information
Technology, 2007. CIT 2007; DOI: 10.1109/CIT.2007.84.
- [Lü14] Klaus Lüdtkke: Röntgenstrahlen – Die ganze Geschichte.
In: [http://heureka-stories.de/Erfindungen/1895---Die-
Röntgenstrahlen/Die-ganze-Geschichte](http://heureka-stories.de/Erfindungen/1895---Die-Röntgenstrahlen/Die-ganze-Geschichte), 30. Januar 2014,
abgerufen am 2. Mai 2017.
- [OFC+02] Robert Osada, Thomas Funkhouser, Bernard Chazelle, David Dobkin:
Shape Distributions.
In: ACM Transactions on Graphics 21(4):807-832, 2002.
- [PCK+15] Thomas Preidel, Steffen Cersowsky, Ronny Krüger, Markus Färber:
Punktebasiertes hierarchisch-probabilistisches Level of Detail.
In: Wissenschafts- und Industrieforum Intelligente Technische Systeme,
Paderborn, 2015.
- [TAG+17] Michèle Touchette, Carolyn Anglin, Pierre Guy, Meena Amlani, Antony
Hodgson: Evaluation of the Use of Artificial X-Rays for Educational and
Intraoperative Guidance during C-Arm Positioning.
In: Proceedings of the 17th Annual Meeting of the International Society
for Computer Assisted Orthopaedic Surgery (CAOS 2017), 1:151-156,
2017.
- [VGF+09] Franck P. Vidal, Manuel Garnier, Nicolas Freud, Jean Michel Létang,
Nigel W. John: Simulation of X-ray Attenuation on the GPU.
In: Theory and Practice of Computer Graphics (TPCG 2009), Cardiff,
UK, 17-19 June 2009, pp. 25-32;
DOI: 10.2312/LocalChapterEvents/TPCG/TPCG09/025-032.

Innovative Hafenanwendungen

Nutzung von Stereo-Hochkontrast-Aufnahmen für eine bodengestützte, automatische Bestimmung von Schüttgutmaterialien und für die Erkennung der Belegung von Außenlagerflächen in Häfen

Tom Krause, Tim Dolereit, Matthias Vahl

Maritime Graphics

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD

Joachim-Jungius-Straße 11

18059 Rostock, Deutschland

tom.krause@igd-r.fraunhofer.de

tim.dolereit@igd-r.fraunhofer.de

matthias.vahl@igd-r.fraunhofer.de

Abstract: In diesem Artikel wird ein Stereokameraaufbau vorgeschlagen, welcher es ermöglicht, über weite Distanzen einen Schüttguthaufen freizustellen und seine Art (Sand, Kies, Roheisen) zu bestimmen. Durch Aufnahme von Belichtungsreihen werden Hochkontrastbilder gewonnen. Somit ist das System für Außenaufnahmen bei jedem Wetter geeignet. Der vorgestellte Ansatz arbeitet in fünf Schritten: Aufnahme von Stereo-Hochkontrastbildern, Bildvorverarbeitung, Semi-global Blockmatching, Segmentierung/Rücktransformation und Materialerkennung. Es wird in diesem Artikel gezeigt, dass dieses Verfahren robust gegenüber Wetterbedingungen ist, eine zuverlässige Segmentierung auf Basis der Tiefeninformationen erreicht und die korrekte Materialbestimmung ermöglicht.

1 Einleitung

In der Fernerkundung, bei der Vermessung von Großbaustellen, Minen oder auf Außenlagerflächen von Häfen ist es wichtig zu wissen, welche Art von Material

sich an einer bestimmten Geoposition befindet. Eine optische Überprüfung kann entweder vom Boden aus oder durch Überfliegen mit Flugzeugen oder Drohnen stattfinden. Hierzu existieren bereits kommerzielle Systeme, z. B. Imagemaster von TerraDat¹, 3DReshaper von HEXAGON² oder drone2GIS³. In jedem Fall werden fotografische Aufnahmen gemacht, die anschließend ausgewertet werden. Ein mögliches Verfahren zur automatisierten Auswertung von Luftbildaufnahmen beschreiben Vahl et al. [VvL15]. Luftbasierte Systeme eignen sich vor allem für sporadische Messaufgaben in weitläufigen Anlagen, z.B. Tagebauminen. Aufgrund von Regularien und Wetterbedingungen sind diese leider nicht uneingeschränkt einsetzbar, so dass ausgehend von den Anforderungen der Rostocker Fracht- und Fischereihafen GmbH für eine bodenbasierte Lösung entschieden wurde. Die Vorteile sind die robuste Technik, die nebenbei auch zur Geländeüberwachung genutzt werden kann, und die ständige Verfügbarkeit und somit stets aktuelle Daten.

In diesem Artikel wird ein Verfahren vorgestellt, welches anhand von einem ca. 8 m über dem Boden montierten Kamerasystem evaluiert wurde. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Verwendung eines High-Dynamic-Range-Verfahrens, um den großen Dynamikbereich abdecken zu können, und eines Stereovision-Systems, mithilfe dessen direkt und ohne weitere Sensorik Entfernungen bestimmt werden können. In der ersten Ausbaustufe stehen die Gutartbestimmung und die Aussage über die Belegung einer Außenlagefläche im Vordergrund. Es soll bspw. überwacht werden, ob die Güter korrekt eingelagert wurden. Außerdem soll dem Personal über das Terminal-Operating-System unmittelbar vermittelt werden, wie die Situation vor Ort ist. Neben der Übertragung des Videobildes werden somit automatisiert weitere Informationen gewonnen. Das sind die Art des Stückgutes und die Belegungssituation.

¹ <http://www.terrageomatics.com/pdfs/Stockpile.pdf>

² <http://www.3dreshaper.com/en/>

³ <http://drone2gis.com/>

2 Lösungsansatz

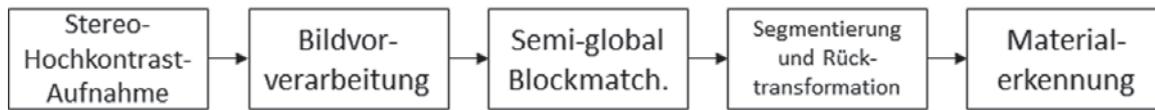


Abbildung 1: Lösungsansatz

Der Lösungsansatz besteht aus fünf Verarbeitungsschritten (vgl. Abbildung 1). Im ersten Schritt werden aus Belichtungsreihen Hochkontrastbilder gewonnen, die anschließend einer speziellen Bildvorverarbeitung unterzogen werden. Das verwendete kalibrierte Stereo-Kamera-System liefert zwei korrespondierende Aufnahmen, aus denen im Semi-global Blockmatchingverfahren eine Tiefenkarte gewonnen wird. Mit Hilfe dieser 3D-Information kann das Volumen von Interesse automatisiert freigestellt und in den Bildraum zurückprojiziert werden. Dies führt zu einer Segmentierung des Materials im Bild. Im letzten Schritt kann die segmentierte Textur zur Bestimmung der Gutart herangezogen werden.

3 Umsetzung

3.1 Bildaufnahme und Bildvorverarbeitung

Für das Ziel der Rückgewinnung metrischer 3D-Informationen aus den Bildaufnahmen einer Szene muss entsprechende Sensorik eingesetzt und konfiguriert werden. Außenaufnahmen stellen durch schnell veränderliche Beleuchtungsverhältnisse eine besondere Herausforderung dar. Somit ist es vorteilhaft eine Bildvorverarbeitung zur Verbesserung der ursprünglichen Aufnahmen durchzuführen. In Kombination mit der eingesetzten Sensorik kann dies beispielsweise in Form der Erstellung von High-Dynamic-Range-Bildern (HDR-Bild) realisiert werden.

Sensorik

Für die Aufnahmen des zu überwachenden Areals wurde eine Stereo-Kamera eingesetzt, die in einer Höhe von ca. 8 m über der Grundfläche montiert wurde (siehe

Abbildung 2). Die einzelnen Kameras wurden mit einem Basisabstand von ca. 0,6 m zueinander und leicht konvergierend installiert, um ein maximal überlap-pendes Sichtfeld in der gewünschten Entfernung zu erhalten. Die Auflösung der einzelnen Kameras betrug jeweils 1912 x 1216 Pixel bei einer Sensordiagonale von 13,4 mm. Die eingesetzten Objektive hatten eine Brennweite von 16 mm.



Abbildung 2: Links: Montage der Stereo-Kamera. Rechts: Zu überwachendes Areal

Erstellung von HDR-Bildern

Mit der eingesetzten Optik konnten Bildausschnitte vom Areal, wie in Abbil-dung 3 dargestellt, erzeugt werden. Diese Bildausschnitte stellen einen Kompromiss zwischen der Größe des überwachten Areals und dem Grad der sichtbaren Details in den Aufnahmen dar. Wie zuvor erwähnt, stellen die Beleuchtungsverhältnisse bei Außenaufnahmen eine besondere Herausforderung dar. Um der in den meisten Fällen auftretenden unausgewogenen Beleuchtung in den Aufnahmen entgegenzuwirken, wurde die Szene mit verschiedenen Belichtungszeiten aufgenommen. Anschließend wurde mit Hilfe des Verfahrens von Debevec und Malik [DM97] aus dieser Belichtungsserie ein kontrastreiches HDR-Bild gene-riert. Der Vorteil eines HDR-Bildes ist, dass es keine über- oder unterbelichteten Bereiche mehr gibt und alle Details gut sichtbar sind, was die weitere Verarbei-tung vereinfacht.

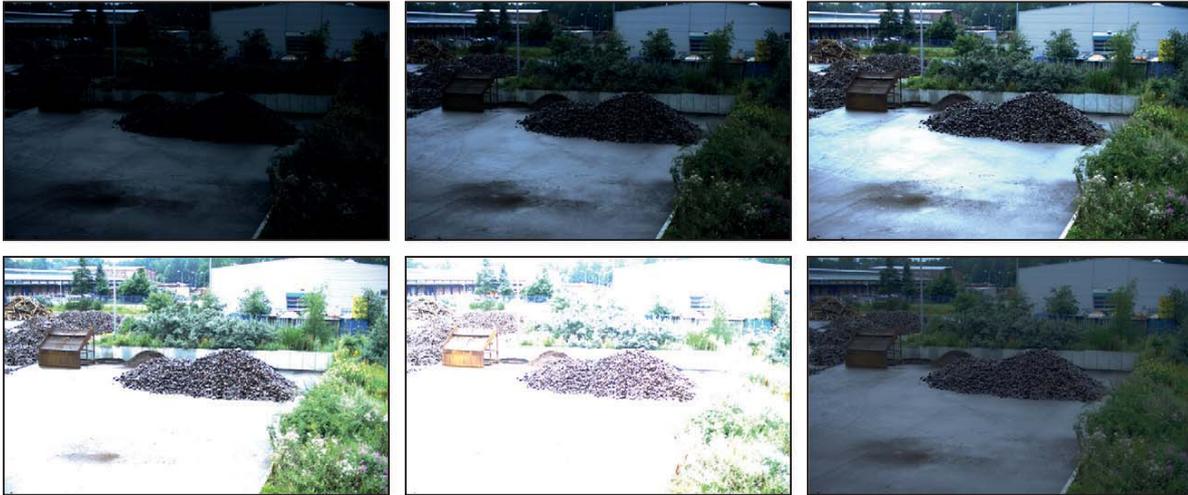


Abbildung 3: Belichtungsreihe der aufgenommenen Szene und das resultierende HDR-Bild (unten rechts)

3.2 Einmessung/Kalibrierung

Nach der Montage der Stereo-Kamera und der Bildvorverarbeitung wurde die Stereo-Kamera in die Szene eingemessen. Dazu wurde die Stereo-Kamera kalibriert und die Grundfläche der Szene bezüglich des Kamera-Koordinatensystems bestimmt.

Stereo-Verarbeitung: Für die Kalibrierung der intrinsischen und der relativen extrinsischen Kamera-Parameter wurde auf herkömmliche Algorithmen aus der freien Programmibliothek OpenCV⁴ zurückgegriffen, welche auf den Arbeiten von Zhang [ZH00] und Bouguet [Bo04] beruhen. Nach der Rektifizierung der Stereo-Aufnahme wurden ein dichtes Stereo-Matching mittels Semi-global Blockmatching [HH08] durchgeführt, um korrespondierende Pixel in der linken und der rechten Ansicht zu ermitteln.

Bestimmung der Grundfläche: Das Resultat vom Stereo-Matching ist eine dichte Disparitätskarte (siehe Abbildung 4, links), in der der Intensitätswert eines Pixels die Entfernung vom entsprechenden Objektpunkt in der Szene zur Kamera darstellt. Diese Disparitätskarte wurde genutzt, um unter Einbezug der intrinsischen und der relativen extrinsischen Kamera-Parameter eine metrische 3D-Punktwolke der Szene zu berechnen (siehe Abbildung 4, Mitte).

⁴ <http://opencv.org/about.html>

Anschließend wurden mit Hilfe der freien Programmibliothek PCL⁵ Ausreißer aus der 3D-Punktwolke gefiltert und die Punkte extrahiert, die einem Ebenen-Modell entsprechen. Dieses sogenannte Plane Fitting zur Bestimmung einer Ebenengleichung wurde mit Hilfe eines RANSAC-Algorithmus (Random Sample Consensus) realisiert. Diese Ebenengleichung für die Grundfläche des aufgenommenen Areal bildet die Grundlage für die nachfolgenden Arbeitsschritte und für die Bestimmung der Belegung dieser Grundfläche. Da die berechnete 3D-Punktwolke in vielen Bereichen weit über das relevante Areal hinwegreicht, wurde sie mit Hilfe der Ebenengleichung so rotiert, dass eine orthografische Projektion entlang des Normalenvektors der Grundfläche erstellt werden konnte (siehe Abbildung 4, rechts). Diese orthografische Projektion diente in diesem Arbeitsschritt der Markierung und somit der Begrenzung des relevanten Bereichs der Grundfläche.

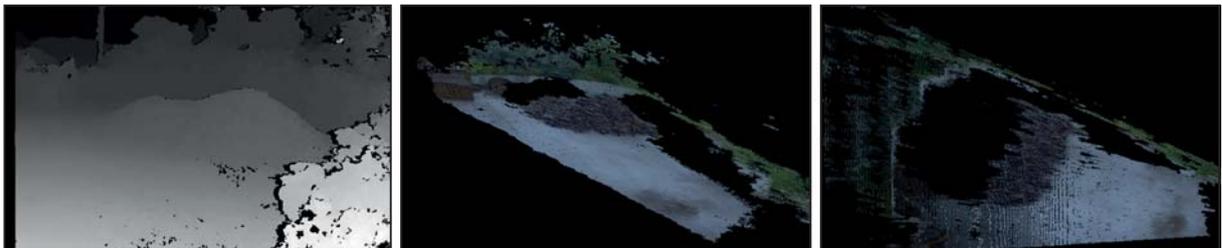


Abbildung 4: Links: Disparitätskarte; Mitte: 3D-Punktwolke; rechts: Orthografische Projektion

3.3 Belegung

Nach der Kalibrierung der Stereo-Kamera, der Einmessung der Stereo-Kamera bezüglich der Grundfläche und der Maskierung relevanter Bereiche ist es möglich, die Belegung des zu überwachenden Areal zu bestimmen. Dazu wurden wiederum die Rektifizierung, das Stereo-Matching und die Berechnung der zugehörigen 3D-Punktwolke ausgeführt. Mit Hilfe der 3D-Punkte konnte ein Höhenfeld bezüglich der zuvor bestimmten Grundfläche berechnet werden. Anhand dieses Höhenfeldes wurde anschließend über die Belegung der Grundfläche im relevanten Bereich entschieden.

Belegte Flächen: Das Höhenfeld wurde ähnlich wie zuvor durch orthografische Projektion entlang des Normalenvektors der Grundfläche erstellt. In der resultierenden orthografischen 2D-Ansicht wurde anstelle des RGB-Farbwertes der zu-

⁵ <http://pointclouds.org/about/>

gehörigen 3D-Punkte jedoch der Abstand von der Grundfläche kodiert. Da mehrere 3D-Punkte auf den gleichen Pixel abgebildet werden können, wurde jeweils der mittlere Abstand in das Höhenfeld aufgenommen. Um einen Großteil der vorhandenen Lücken im berechneten Höhenfeld zu schließen, wurde die morphologische Operation Dilatation angewendet. Das bearbeitete Höhenfeld wurde anschließend interpretiert. Das Resultat dieser Interpretation ist auf der linken Seite von Abbildung 5 dargestellt. Auf einer Vielzahl von Pixeln im Höhenfeld wurde kein 3D-Punkt abgebildet. Diese Pixel wurden als unbekannt (schwarz) markiert. Alle Höhenwerte, die über einem benutzerdefinierten Schwellwert lagen, wurden als belegt (rot) markiert und alle verbleibenden als frei (grün). Mit Hilfe der durchgeführten Begrenzung des relevanten Bereichs der Grundfläche (blaues Viereck) wurde der weiterzuverarbeitende Bereich eingegrenzt. Anschließend wurden von allen belegten Flächen die Konturen extrahiert. Dabei wurden zu kleine Flächen verworfen (siehe Abbildung 5, rechts). Für die verbleibenden Flächen wurde anschließend die Materialbestimmung durchgeführt.

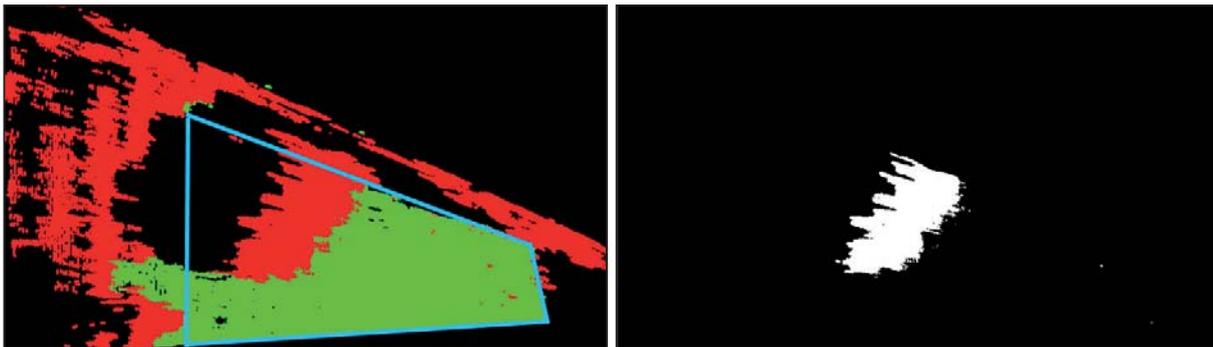


Abbildung 5: Links: Farblich kodiertes Resultat der Interpretation des Höhenfeldes
(Grün: frei, Rot: belegt, Schwarz: unbekannt)
Rechts: Weiterzuverarbeitende Bereiche für die Materialerkennung

3.4 Materialerkennung von Schüttgut

Nach der Bestimmung der Belegung der Grundfläche wurden die als belegt markierten Bereiche zurück in die ursprüngliche linke Ansicht der Stereo-Aufnahme transformiert. Durch diese Rücktransformation konnten die Bildbereiche festgelegt werden, die für die Materialerkennung vom Schüttgut weiterverarbeitet wurden.

Rücktransformation: Die finale Belegung der Grundfläche, die in der orthographischen Ansicht ermittelt wurde und somit das detektierte Schüttgut darstellt

(siehe Abbildung 5, rechts), wurde durch eine Invertierung der durchgeführten Transformationen zurück in die linke Ansicht der Stereo-Aufnahme abgebildet. Für den verarbeiteten Testdatensatz konnte eine zusammenhängende Fläche für die Schüttguterkennung extrahiert werden. Jedes Pixel aus diesem Bereich wurde anhand seines Wertes aus dem zuvor berechneten Höhenfeld direkt zurück in den 3D-Raum transformiert. Anschließend wurde die resultierende 3D-Punktwolke aus der ursprünglichen Perspektive der Stereo-Kamera mit den entsprechenden Kamera-Parametern aus der Kalibrierung projiziert. Die resultierenden Pixel sind auf der linken Seite in Abbildung 6 in Rot dargestellt.



Abbildung 6: Links: Rektifizierte linke Ansicht der Stereo-Aufnahme mit rücktransformierter Belegung (rot) und weiterzuverarbeitender Bereiche (Rechtecke)
Rechts: Ausschnitt für die Materialerkennung

Materialerkennung: Für die Menge der rücktransformierten Punkte wurde die Bounding Box bestimmt. Diese wurde anschließend so angepasst, dass ein quadratischer Ausschnitt des Schüttguthaufens zu sehen ist (siehe Abbildung 6, rechts). Dieser Ausschnitt wurde anschließend mit einem zuvor trainierten Convolutional Neural Network (CNN) klassifiziert und somit auch die Schüttgutart bestimmt.

4 Auswertung

Die aktuelle Implementierung des vorgestellten Verfahrens ermöglicht eine Erkennung und Klassifizierung von Schüttgut auf Außenlagerflächen. Eine Voraussetzung an das zu überwachende Areal ist dabei, dass die Grundfläche flach ist und sich durch eine Ebene approximieren lässt. Die Überwachung mittels einer Stereo-Kamera wurde im ersten Schritt durch die Erstellung von HDR-

Bildern unterstützt. Die resultierenden HDR-Bilder konnten zuverlässig für beide Ansichten einer Stereo-Aufnahme generiert werden. Die dichte Disparitätskarte (Abbildung 4, links) mit wenigen ungültigen Disparitätswerten zeigt, dass das Stereo-Matching zwischen dem linken und dem rechten HDR-Bild gute Resultate liefert. Da für die aufgenommene Szene keine Ground Truth Daten verfügbar waren, kann die berechnete Disparitätskarte, die daraus erzeugte 3D-Punktwolke und die Bestimmung der belegten Flächen nur qualitativ bewertet werden. Anhand einer visuellen Begutachtung können die erzielten Resultate als plausibel erachtet werden. Die Detektion von nur einer zusammenhängenden und als „belegt“ klassifizierten Fläche im festgelegten Areal erfüllte dabei die gesetzte Erwartung. Die Rücktransformation dieser Fläche in die linke Ansicht der Stereo-Aufnahme spiegelt die zuverlässige Detektion vom Schüttgut wider. Die markierten Pixel auf der linken Seite von Abbildung 6 befinden sich alle im Bereich des Schüttguthaufens. Bei der Klassifikation vom Schüttgut mittels CNN wurde zwischen den Klassen Holz, Granitstein, Roheisen, Erde, Kohle sowie „kein Schüttgut“ unterschieden. In dem getesteten Szenario wurde das Schüttgut korrekt klassifiziert.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurde einerseits gezeigt, dass sich Stereo-Kamera-Systeme auch für weite Entfernungen eignen, um Schüttguthaufen von der Umgebung freizustellen. Es wurde weiterhin gezeigt, dass Kameras mit Standardauflösung Bilder mit ausreichend detaillierten Texturen liefern und somit eine Materialerkennung mit Hilfe CNN erlauben.

Zurzeit wird die Art des Schüttguts bestimmt und eine Aussage getroffen, ob ein Platz belegt ist oder nicht. Zukünftige Arbeiten beschäftigen sich mit der Bestimmung des Volumens der Schüttguthaufen. Dies ist rechnerisch mit einer ausreichenden Genauigkeit möglich.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Rostocker Fracht- und Fischereihafen GmbH für die Unterstützung beim Erstellen der Aufnahmen und für die erkenntnisreichen Diskussionen während des Projektes.

Förderhinweis

Das Project „Interaktive Visualisierungs-Tools zur Überwachung, Steuerung und Planung von hafenspezifischen Prozessen (DynamicPort) mit dem Förderkennzeichen ZF4092902ED5 wurde im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [Bo04] Bouguet, J.Y.: Camera calibration toolbox for matlab. 2004.
- [DM97] Debevec, P., Malik, J.: Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs, Proceedings OF ACM SIGGRAPH, 1997, 369-378.
- [HH08] Hirschmüller, H.: Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. PAMI (30), No. 2, February 2008, pp. 328-341.
- [VvL15] Vahl, M., Lukas, U. von, Urban, B., & Kuijper, A. (2015). Semi-automatic Analysis of Huge Digital Nautical Charts of Coastal Aerial Images. In Proceedings of the 10th International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISIGRAPP 2015) (pp. 100-107).
- [Zh00] Zhang, Z.: A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.

Echtzeitströmungsmodell für den Hamburger Hafen

Simone McCurdy¹, Oliver Stoschek¹, Thomas Strotmann², Nino Ohle²

¹DHI WASY GmbH
Volmerstraße 8
12489 Berlin, Deutschland
smc@dhigroup.com
ost@dhigroup.com

²Hamburg Port Authority
Neuer Wandrahm 4
20457 Hamburg, Deutschland
thomas.strotmann@hpa.hamburg.de
nino.ohle@hpa.hamburg.de

Abstract: DHI hat zusammen mit der Hamburg Port Authority (HPA) ein operatives Strömungsinformationssystem (OpCIS) entwickelt. OpCIS berechnet, basierend auf Online-Messwerten und externen regionalen Vorhersagen, mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung die aktuellen und prognostizierten Strömungsverhältnisse im Hamburger Hafen und stellt diese u. a. als OGC-konforme Web-Map-Services bereit. Hintergrund sind unter anderem die Zunahme der Anzahl außergewöhnlich großer Fahrzeuge (AGFs), die den Hamburger Hafen anlaufen, und die damit wachsenden Anforderungen an die Verkehrsflussorganisation und die Sicherheit bei nautischen Manövern.

1 Veranlassung

Der Hamburger Hafen ist aufgrund vielfältiger Herausforderungen im ständigen Wandel. Eine davon ist der stetige Größenzuwachs der Containerschiffe. Die größten ihrer Art haben Gesamtlängen von über 400 m und Kapazitäten von über 20,1 TEU. Ihre Anzahl nimmt stetig zu.



Abbildung 1: Schiffsmanöver Einfahrt Waltershofer Hafen

Mit der Schiffsgrößenentwicklung wachsen auch die Anforderungen an die Nautische Verkehrszentrale und die Hafenlotsen hinsichtlich der Organisation eines sicheren und reibungslosen Verkehrsflusses. Vor diesem Hintergrund wurde DHI, ein auf Modellierung im wasserwirtschaftlichen Umfeld spezialisiertes Unternehmen beauftragt, das Echtzeitströmungsmodell „Operational Current Information System“ (OpCIS) für den Hamburger Hafen zu entwickeln und bei der HPA in Betrieb zu nehmen.

OpCIS berechnet, basierend auf Online-Messwerten und externen regionalen Vorhersagen, mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung die aktuellen und prognostizierten Strömungsverhältnisse im Hamburger Hafen.

Strömungsinformationen für sechs Zoomstufen und für die Zeitschritte Echtzeit und Prognose (30 min) aufzubereiten. Bei dem Aggregationsprozess werden die Strömungsgeschwindigkeiten und -Richtungen in 24 Aggregationstabellen (insgesamt ca. 300.000 Datensätze) aktualisiert. Ergänzend werden für den Vorhersagezeitpunkt statistische Kennwerte je Aggregationscluster, wie z. B. Standardabweichung der Geschwindigkeit, Varianz der Richtung (gerichtet, zirkulär) und Typ der Flutströmung (Flutstrom, Ebbstrom, Kenterphase) berechnet. Herausforderung hierbei war sowohl eine performante, als auch sinnvolle Aggregation unter Berücksichtigung der komplexen Strömungsverhältnisse und der verschachtelten Struktur des Hamburger Hafens.

Die Bereitstellung der Strömungsinformationen als OGC-konforme Web-Map-Services erfolgt über die ArcGIS Servertechnologie von Esri, wobei die Web-Dienste direkt über SQL Abfragen (Query Layer) auf die Aggregationstabellen zugreifen. Änderungen in den Aggregationstabellen spiegeln sich somit direkt und ohne Zeitversatz in den OpCIS Web-Diensten wieder.

3 Modellgebiet und Auswertungen

Das Modellgebiet umfasst insgesamt eine Fläche von rund 70 km² und erstreckt sich vom Wehr Geesthacht bis zum Pegel Stadersand. Die Online-Messwerte Wasserstand Stadersand und Durchfluss Neu Darchau gehen als Randbedingungen in die Simulation ein. Weitere Online-Messwerte werden für die regelmäßige Validierung und Qualitätssicherung der Modellergebnisse herangezogen.

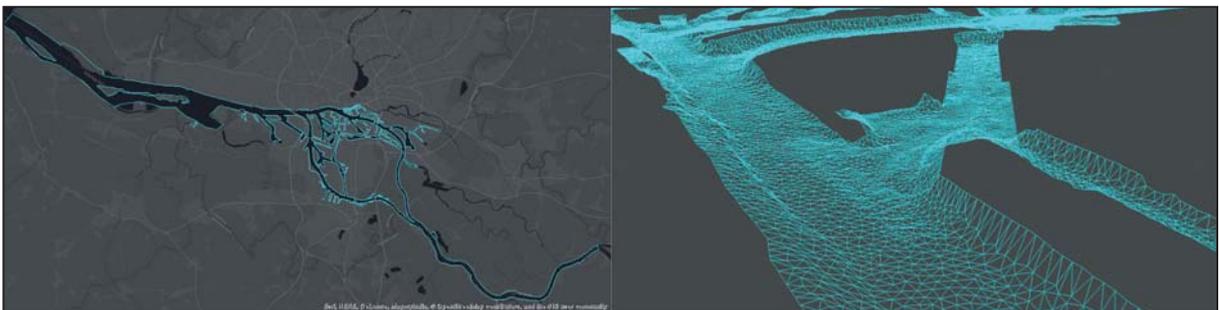


Abbildung 3: Modellgebiet und Ausschnitt Finite-Elemente-Mesh

Neben speziellen Auswertungen durch die HPA Hydrologie werden die Strömungsdaten wie bereits erwähnt sowohl

- hochaufgelöst, als auch aggregiert für verschiedene Zoomstufen,
- in unterschiedlicher Symbolisierung (Tagsicht, Nachtsicht, Videowall) und
- zu den beiden Zeitpunkten „Echtzeit“ und „Prognose“ (+30 Minuten)

als OGC-konforme Web-Map-Services (WMS) bereitgestellt. Über diese standardisierte, plattformunabhängige Schnittstelle können die Strömungsdaten z. B. in die Client-Anwendungen der Nautischen Zentrale oder der Hafenslotsen eingebunden werden.

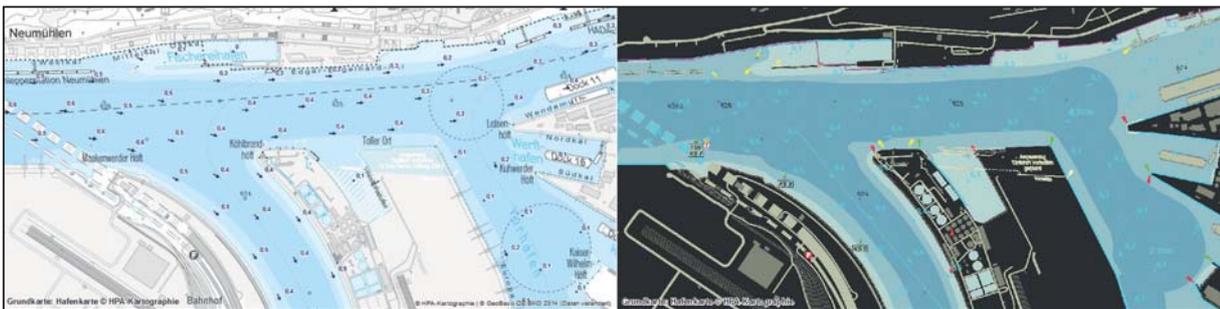


Abbildung 4: Tagsicht und Nachtsicht der aggregierten Strömungsinformation

4 Virtual Reality und 3D im Web

Virtual Reality (VR) ist aus der Unterhaltungselektronik nicht mehr wegzudenken und spielt auch in wissenschaftlichen Anwendungsbereichen, wie z. B. der Medizin, eine immer größere Rolle.

Im Bereich der Wasserwirtschaft hat das DHI Groundwater Modelling Centre in Berlin in FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) die Verschmelzung von Virtual Reality und Grundwassermodellierung bereits beeindruckend realisiert. Durch eine Anpassung des Systems können auf diesem Wege bereits jetzt die mit OpCIS simulierten Strömungsverhältnisse des Hamburger Hafens und die Bathymetrie durch die VR-Brille (Oculus Rift) in einer virtuellen Welt betrachtet werden.



Abbildung 5: Eintauchen in OpCIS-Simulationsergebnissen mittels Virtual Reality

Neben Virtual Reality sind auch die Entwicklungen bei Web3D-Technologien rasant. Derzeit experimentiert das OpCIS-Team mit der 3D-Visualisierung von wasserwirtschaftlichen Modellierungsergebnissen im Web und bedient sich dabei der ArcGIS API for JavaScript 4.x der Firma Esri, die es erlaubt, Inhalte im Web sowohl in 2D- als auch 3D-Ansichten zu präsentieren. Auch hier eröffnen sich viele neue Möglichkeiten der Ergebnispräsentation und Auswertung.

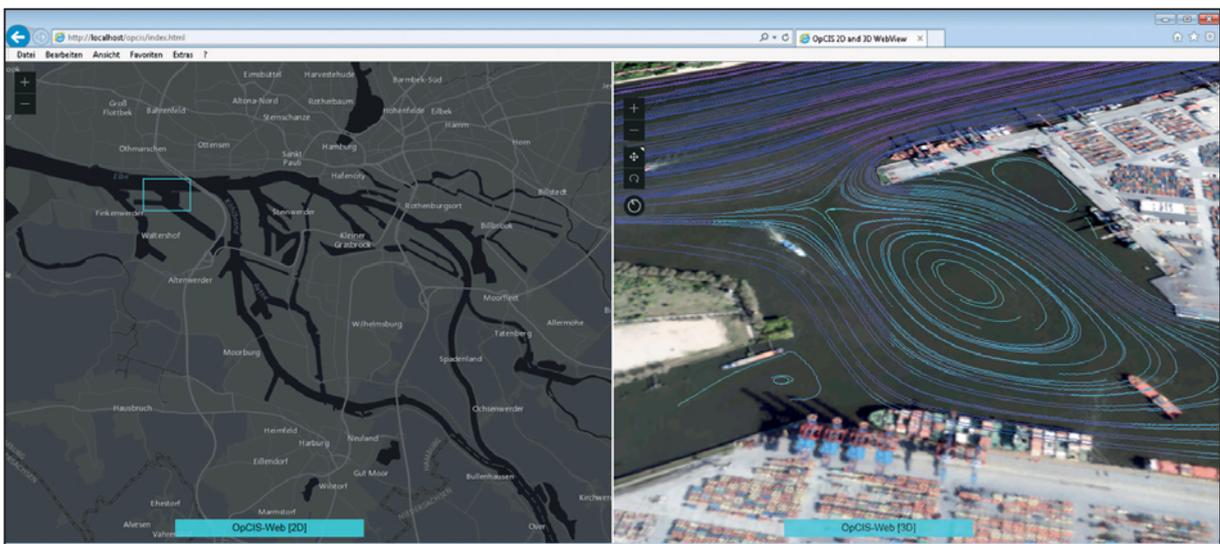


Abbildung 6: Visualisierung von Simulationsergebnissen in 2D- und 3D-Webansichten

5 Fazit und Ausblick

Mit dem Operativen Strömungsvorhersagesystem OpCIS hat die HPA ein Werkzeug für die Optimierung der verkehrlichen Nutzung der vorhandenen wasserseitigen Infrastruktur entwickelt. Auf die Zukunft ausgerichtet, ist hier zudem ein Tool entstanden, das für eine Maritim 4.0-Vernetzung zur Verfügung steht. So ließen sich mit vertretbarem Aufwand z. B.

- die hochgenauen Hafendaten, kombiniert mit den Strömungsinformationen der Elbe, für eine Berechnung der Schiffsankünfte großer Schiffe verwenden.
- Wassertiefen und Brückendurchfahrtshöhen aktuell und vorausberechnet abrufen und Abfahrtspläne der Schiffe dadurch optimieren.
- Fahrzeiten des Hafenshuttles für Container tideabhängig berechnen und zu „Just in Time“ Lieferungen am Containerterminal verknüpfen.
- Partikeltracking (Verfolgung von Objekten und Schadstoffausbreitung) im Echtzeitbetrieb oder bei nachträglichen Auswertungen von Schiffsunfällen durchführen.

Die Digitalisierung der Umwelt bietet viele Möglichkeiten bestehende Infrastrukturen optimierter zu nutzen.

Anwender aus dem wasserwirtschaftlichen Umfeld sind beim Blick durch die VR Brille und dem Eintauchen in ihre teilweise sehr komplexen 3D-Simulationsmodelle durchweg begeistert. Die Technologie kann in allen Phasen zur Anwendung kommen, vom Modellaufbau, über Modellanpassungen hin zur Auswertung und Ergebnispräsentation beim Auftraggeber.

Parallel zur Virtual Reality entwickelt sich derzeit auch die mobile Augmented Reality (erweiterte Realität) rasant in vielen Anwendungsbereichen. Es wird spannend, welche Rolle diese Technologie zukünftig bei wasserwirtschaftlichen Fragestellungen spielen wird.

3D-Erfassung

Laserscanner Surphaser – Effiziente und präzise Digitalisierung für Qualitätskontrolle und Reverse Engineering

Ralf Lichtenberger, Peter Wintjens

LIMESS Messtechnik & Software GmbH

Gripswaldstraße 37

47804 Krefeld, Deutschland

ralf.lichtenberger@limess.com

Zusammenfassung: Die Baureihe der Surphaser Laserscanner ist unübertroffen bzgl. ihrer Messgenauigkeit und Geschwindigkeit. Die Kurzbereichsscanner 75USR (2,5 m) und 100HSX-IR (8 m) sind besonders geeignet für die Digitalisierung von komplexen Bauteilen (Guss, Maschinenbau, Modellbau etc.) und können im Gegensatz zu triangulationsbasierten Messverfahren in tiefen Kavitäten messen. Aufgrund des geringen Messrauschens (25 μm) und der hohen Messgenauigkeit können die Daten ohne aufwendige Aufbereitung/Filterung für Reverse Engineering und geometrische Qualitätskontrolle verwendet werden.

1 Messverfahren für große Messvolumen

1.1 Übersicht

Für die industrielle 3D-Digitalisierung von Bauteilen und Strukturen mit einer Größe von mehr als ca. 1 m x 1 m x 1 m sind folgende Verfahren etabliert:

- Handgeführte Scanner
- Lasertracker

- Photogrammetrie
- Streifenprojektion
- Terrestrische Laserscanner

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Messverfahren verglichen.

1.2 Eigenschaften der Messverfahren

Handgeführte Scanner besitzen Sub-Millimeter-Genauigkeit und eine hohe Ortsauflösung (Punktedichte). Die flächenhafte Digitalisierung von großen Bauteilen ist zeitaufwändig.

Lasertracker erreichen auch bei sehr großen Volumen Messgenauigkeiten von einigen Mikrometern. Das Target wird meist handgeführt. Eine flächenhafte Messung ist deshalb sehr zeitaufwändig.

Bei der Photogrammetrie werden die 3D-Koordinaten von aufgeklebten Markern mit Submillimetergenauigkeit gemessen. Eine flächenhafte Messung mit hoher Punktedichte ist nicht möglich.

Das Streifenprojektionsverfahren erreicht im Vergleich zu den anderen Messverfahren die höchste Genauigkeit und Punktedichte bei Messvolumen kleiner als ca. $0,5 \text{ m}^3$. Bei Volumen ab ca. 1 m^3 werden aufgeklebte Marker zur Referenzierung mehrerer Scans eingesetzt. Im Automobilbereich werden die Scanner meist von Robotern geführt, um große Volumen vollautomatisch zu erfassen. Aufgrund des Triangulationsprinzips kann das Streifenprojektionsverfahren kaum in tiefen Kavitäten messen oder sehr komplexe Geometrien erfassen.

Terrestrische Laserscanner sind verfügbar mit Reichweiten von ca. 2,5 m bis 200 m. Laserscanner, deren Reichweite u.a. aufgrund ihrer Strahlführung optimiert sind, erreichen bis ca. 20 m Submillimetergenauigkeit. Die flächenhafte Erfassung großer Messvolumen ist mit einem terrestrischen Laserscanner sehr effizient. Laserscanner können komplexe Geometrien und in tiefen Kavitäten messen.

In Tabelle 1 werden die beschriebenen Eigenschaften zusammengefasst.

	Genauigkeit	Ortsauflösung	Effizienz	Komplexe Geometrie
Handgeführte Scanner	+	+	-	+
Lasertracker	-	-	-	-
Photogrammetrie	-	-	-	-
Streifenprojektion	+	++	-	-
Terrestrische Laserscanner	-	+	+	+
Surphaser	+	+	+	+

Tabelle 1: Eigenschaften der Messverfahren für Scan-Volumen größer ca. 1 m³

1.3 Surphaser-Modelle im Vergleich

Die Surphaser-Laserscanner arbeiten nach dem Phasenvergleichsverfahren und sind optimiert für verschiedene Arbeitsbereiche bzw. Reichweiten von 2,5 m bis 110 m

- 75USR: 2,5 m Reichweite
- 100HSX-SR: 8 m Reichweite
- 100HSX-IR: 50 m Reichweite
- Modell 10: 110 m Reichweite

Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der wichtigsten Surphaser-Modelle.

	Reichweite in m	Genauigkeit in mm	Messrauschen in mm	Laser
75 USR	0,25 - 2,5	0,15 bei 1,5 m	0,025	1 (1550 nm)
100HSX-SR	1 - 7	0,3 bei 3 m	0,024 bei 4 m	3R (685 nm)
100HSX-IR	1 - 50	0,7 bei 15 m	0,07 bei 15 m	3R (685 nm)
Modell 10	1 - 110	0,9 bei 15 m	0,25 bei 15 m	1 (1550 nm)

Tabelle 2: Surphaser-Modellübersicht

2 Herausragende Eigenschaften

2.1. Messrauschen/Auflösung

Bei einer hohen Datenqualität entfällt der zeitaufwändige Prozess zur Datenbereinigung und Filterung. Das Messrauschen eines 3D-Scanners sollte deshalb möglichst gering sein.

Die Digitalisierung eines kleinen Gehäusedeckels mit einer 0,2 mm tiefen flächigen Einfräsung (Vertiefung) verdeutlicht das geringe Messrauschen des Surphasers (Modell 100HSX-SR). Abbildung 1 zeigt die farbcodierte z-Achse der Punktwolke nach einem Ebenenfit auf die Rohscandaten. Die Einfräsung (rot) hebt sich deutlich von der ungefrästen Oberfläche ab. Die Skala zeigt auch die statistische Verteilung der Messwerte auf der Oberfläche bzw. der Vertiefung. Die hierbei gemessene Tiefe der Einfräsung von 0,2 mm deckt sich mit den entsprechenden CAD-Daten des Gehäusedeckels.

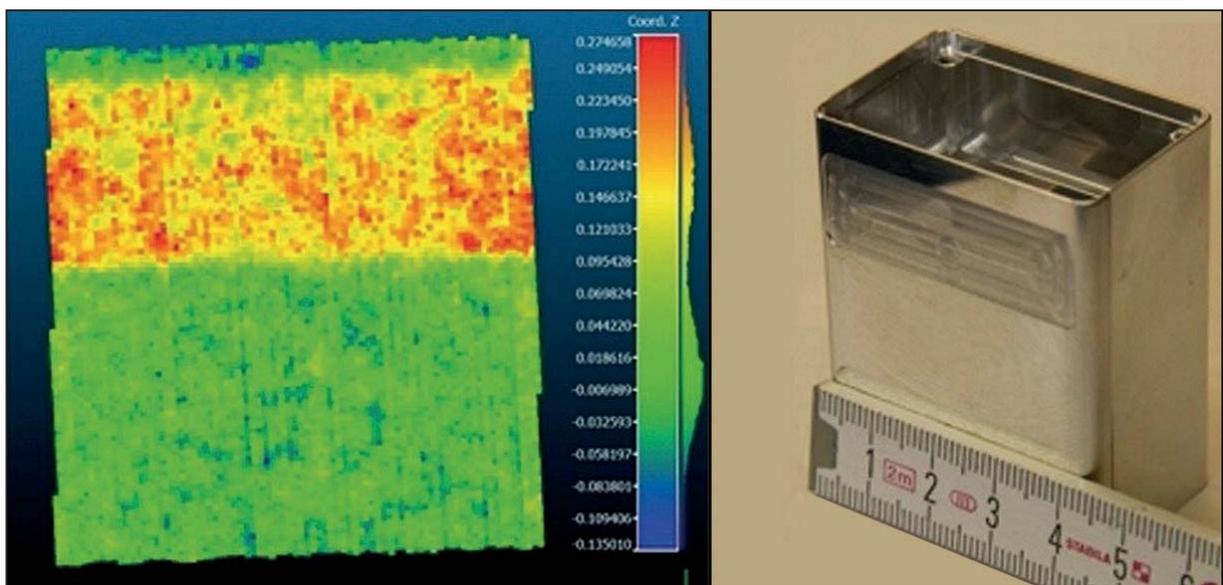


Abbildung 1: Links: Scandaten eines Gehäusedeckels mit 0,2 mm Vertiefung
Rechts: Foto des Gehäuses mit eingefräster Vertiefung

Eine aufwändige Bereinigung, Glättung oder Filterung ist bei der hohen Datenqualität aufgrund des kleinen Messrauschens nicht erforderlich. Die Scandaten können damit direkt für die Qualitätskontrolle und Reverse Engineering weiterverarbeitet werden.

2.2 Genauigkeit

Die Genauigkeitsqualifizierung eines Laserscanners ist bislang nicht durch offizielle Vorschriften definiert. Prinzipiell ist ein Vergleich mit genaueren Messverfahren wie Lasertracker oder Laserinterferenzlängenkomparatoren möglich. Die Verfahren werden beschrieben von [Fe13], [Mu13] und [Sa13].

2.3 Vollautomatische Referenzierung (Registrierung)

Für eine Rundum-Digitalisierung (360°) von Bauteilen ist es erforderlich, aus verschiedenen Perspektiven zu digitalisieren und diese Scans gegeneinander zu referenzieren bzw. zusammensetzen. Eine automatische und präzise Methode, mehrere Scans gegeneinander zu referenzieren, bietet der Surphaser durch Verwendung von Kontrasttargets oder Kugeln.

Abbildung 3 zeigt die 4 Scanbilder eines Objekts, aufgenommen aus unterschiedlichen Richtungen. Kontrasttargets sind unregelmäßig um das Objekt verteilt.

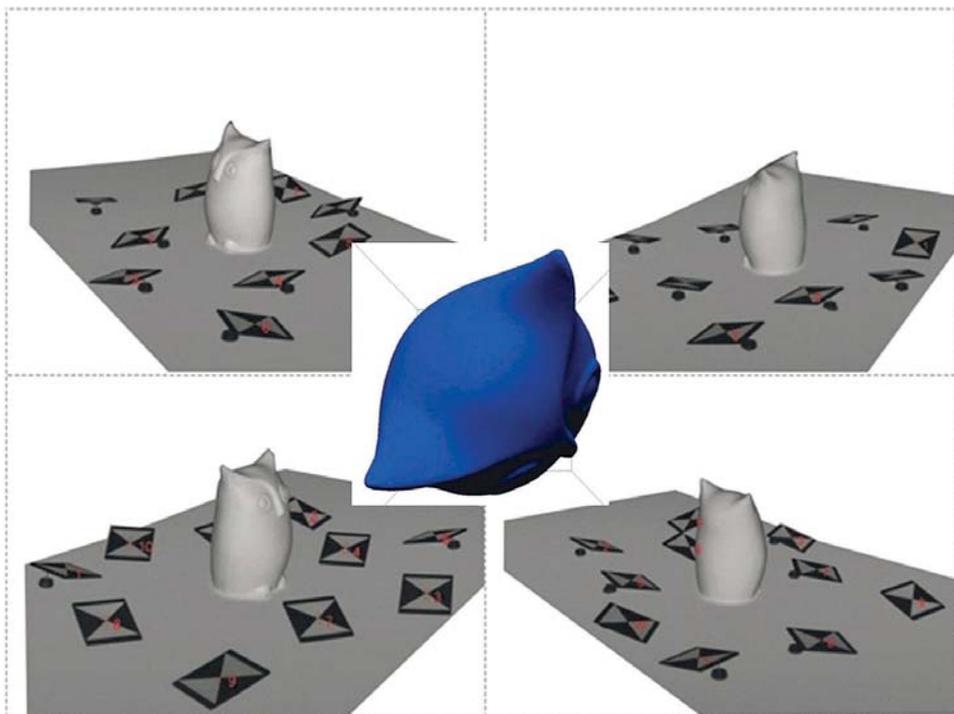


Abbildung 2: Vier Scan-Ansichten einer Skulptur:
Die Kontrasttargets erlauben die automatische Referenzierung der Scans.

Die Scans werden in der Surphaser-Software vollautomatisch über die Kontrasttargets referenziert. Die zusammengesetzte Punktwolke der Skulptur ist in der Mitte der Abbildung 2 gezeigt.

Bei der Messung von sehr großen Bauteilen können die Kontrasttargets auch übergeordnet durch Lasertracker eingemessen und die einzelnen Punktwolken dann global referenziert werden.

2.4 Geometrische Herausforderungen

Komplexe Bauteilgeometrien und tiefe Löcher (Kavitäten) können mit einem Laserscanner einfach und problemlos digitalisiert werden. Der Laserstrahl kann bis zum angegebenen Arbeitsbereich in tiefen Löchern messen und liefert aufgrund des geringen Strahldurchmessers auch bei streifendem Auftreffwinkel präzise Messwerte.

Abbildung 3 zeigt einen einzelnen Innenscan eines PKW-Getriebes (H x B x T). Verwendet wurde ein Surphaser Modell 75USR.



Abbildung 3: Mit einem einzelnen Surphaser-Scan erfasste Innenkontur eines Getriebegehäuses 400 mm x 300 mm x 400 mm.

3 Anwendungsbeispiele

In den folgenden Abschnitten werden einige typische Anwendungsbeispiele des Surphasers im Bereich der Industriedigitalisierung gezeigt.

3.1 Dampfturbinengehäuse

Die Digitalisierung eines Dampfturbinengehäuses der Abmessung 5 m x 6 m x 4 m erfolgte aus 7 Scanpositionen, um alle relevanten Bereiche zu erfassen. Abbildung 5 zeigt das Dampfturbinengehäuse mit dem Surphaser in unterer Scanposition. Die Scanpositionen sind in Abbildung 4 rechts im Gesamtdatensatz (90 Millionen Datenpunkte) visualisiert. Der Gesamtaufwand für die Datenerfassung und automatische Referenzierung betrug ca. 90 Minuten.

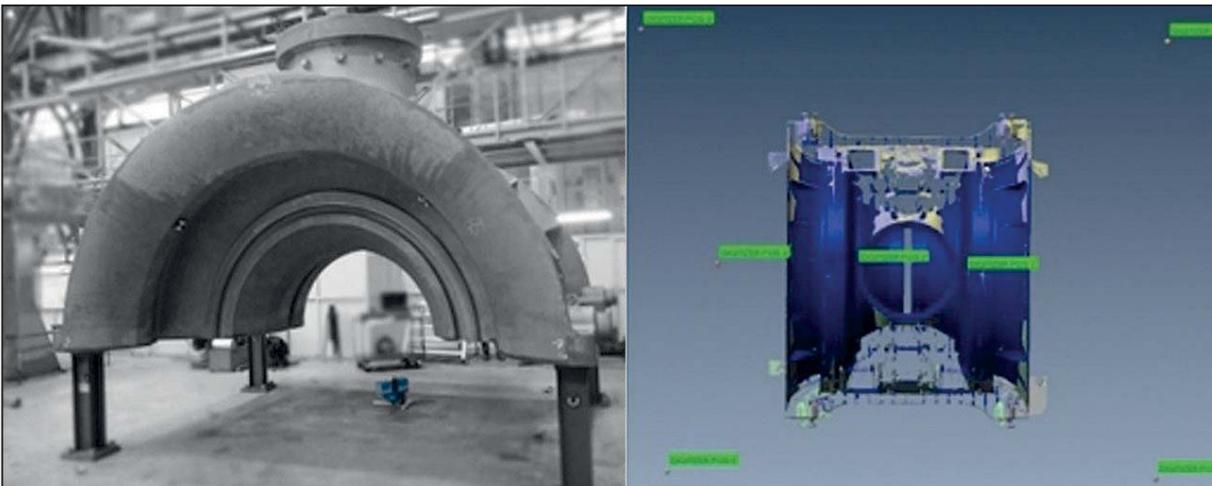


Abbildung 4: Digitalisierung eines Dampfturbinengehäuses mittels Surphaser 100HSX-SR

3.2 Gießerei/Modellbau

Ein 7 m x 3 m x 1 m großes Gussbauteil mit taillierten Erhebungen muss für die fertigungstechnische Nachbearbeitung möglichst genau digitalisiert werden. Hier werden mehrere Scans durchgeführt um möglichst gut zwischen den Erhebungen zu messen. Die Referenzierung erfolgt vollautomatisch über die im Messbereich verteilten Kontrasttargets. Vier Scans mit einer Gesamtmesszeit von ca. 40 Minuten liefern hier eine Dichte von ca. 1 Punkt pro mm.

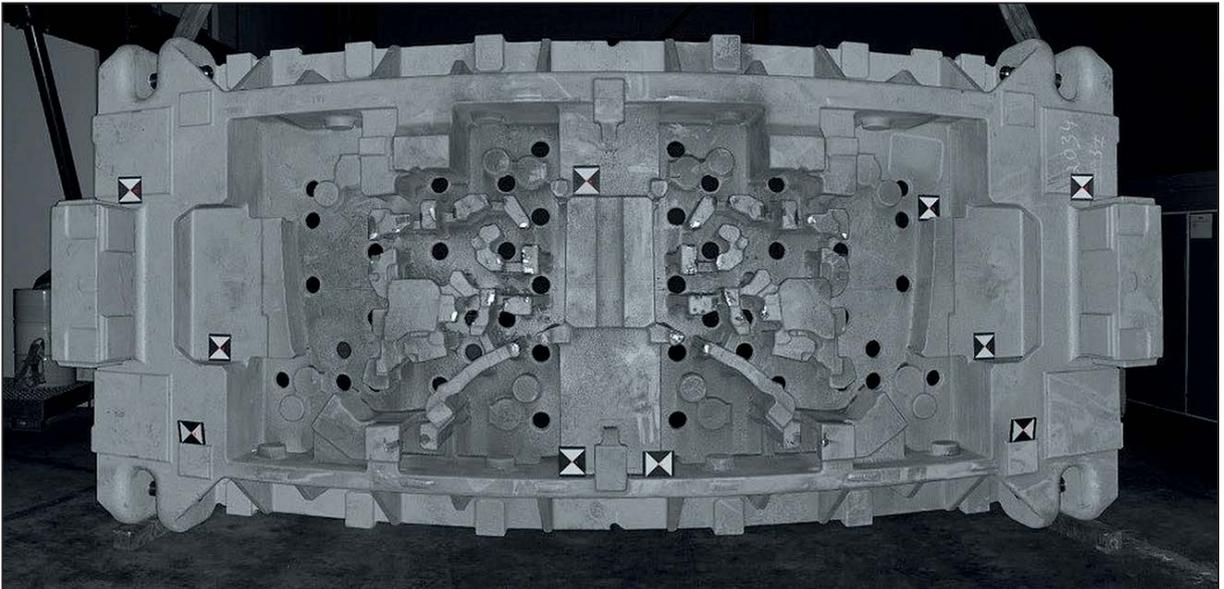


Abbildung 5: Digitalisierung eines Grossgussteils mittels Surphaser 100HSX-SR

3.3 PKW Innenraum

Mit dem Surphaser Modell 75USR (2,5 m Reichweite) wird der Innenraum eines PKW in ca. 5 Minuten vollständig in 360° erfasst. Abbildung 6 zeigt das abgewinkelte 360° Scanbild einer Rohkarosserie mit 38 Millionen Datenpunkten. Mit zwei Scans können beide Fußräume aufgezeichnet werden.

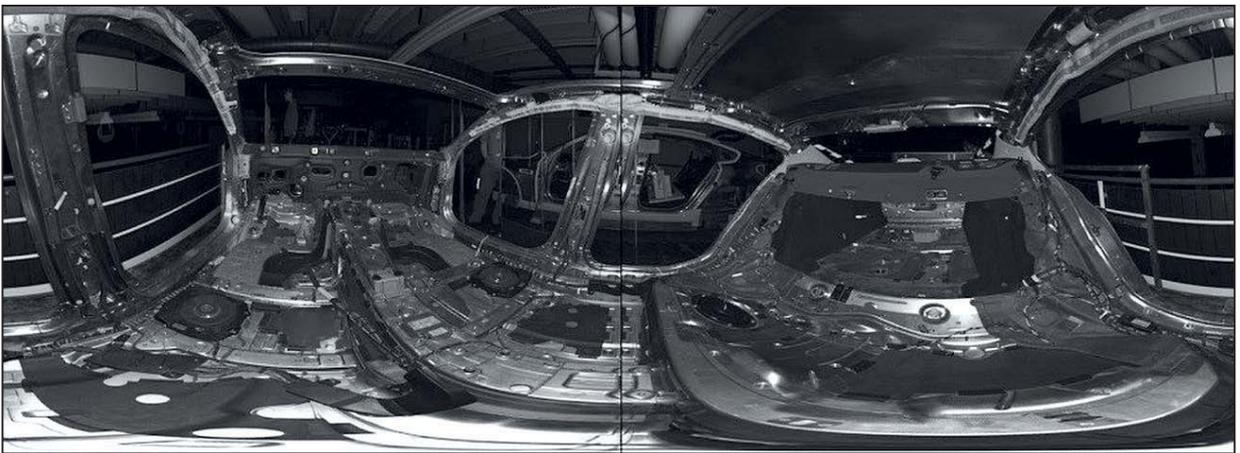


Abbildung 6: 360°-Innenraumscan eines PKW
5 Minuten Scanzeit für 38 Millionen Datenpunkte

Die Innenraumdigitalisierung wird im Bereich Cubing und für Crashversuche eingesetzt. Die Zeitersparnis gegenüber konventionellem Scannen mittels Streifenprojektionssystem oder Handscanner ist in dieser Anwendung enorm.

Zusammenfassung

Die Surphaser Laserscanner zeichnen sich durch unübertroffene Messgenauigkeit bei hoher Scangeschwindigkeit aus. Auch großvolumige Bauteile sind in kurzer Zeit mit wenig Personalaufwand in Submillimetergenauigkeit erfasst. Durch die hohe Datenqualität entfällt eine aufwändige Datenbereinigung.

Literatur

- [Ba17] Basis Software Inc.: Datenblätter und Webseite des Surphaser-Herstellers, Stand 2016/2017. (<http://www.surphaser.com>)

- [Fe13] Ferrucci et al: Ranging performance evaluation of a laser scanner. ASPE conference 2013. (<http://www.aspe.net/publications/Short Abstracts 13A/3783.pdf>)

- [Mu13] Muralikrishnan et al: Volumetric performance evaluation of a laser scanner. ASPE conference 2013. (<http://www.aspe.net/publications/Short Abstracts 13A/3784.pdf>)

- [Sa13] Daniel Sawyer: Ranging Performance Evaluation of a Laser Scanner. Konferenz LVMC, 2013.

Hochauflösende 3D-Sonarbildgebung

Michael Ehrhardt, Christian Degel, Franz Josef Becker, Leonora Peter, Holger Hewener,
Heinrich Fonfara, Marc Fournelle, Steffen Tretbar

Hauptabteilung Ultraschall
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT
Joseph-von-Fraunhofer-Weg 1
66280 Sulzbach/Saar, Deutschland
sonar@ibmt.fraunhofer.de

Abstract: Innerhalb der letzten Jahre hat die Hauptabteilung Ultraschall des Fraunhofer IBMT verschiedene Sonarsysteme zur Volumenabbildung entwickelt und aufgebaut, welche eine hochaufgelöste dreidimensionale Bildgebung auf kurze Distanzen ermöglichen. Diese Systeme umfassen ein Fächerecholot mit kombinierter Sende- und Empfangsapertur, ein 3D-Sonarsystem mit getrennter Sende- und Empfangsantenne in Mills Cross-Anordnung sowie eine echtzeitfähige 3D-Sonarkamera mit einer Matrixantenne mit 1024 einzelnen Wandlerelementen. Die verschiedenen Systeme wurden sowohl an Phantomen als auch an realen Objekten und Strukturen validiert. Die Ergebnisse dieser Messungen werden in dieser Arbeit dargestellt und diskutiert. Hierbei werden die einzelnen Vor- und Nachteile der Systeme für verschiedene Aufgaben im Bereich der Unterwasservisualisierung betrachtet.

1 Motivation

Sonarsysteme, die eine hochaufgelöste volumetrische Bildgebung auf kurzen Distanzen ermöglichen, werden für verschiedenste Aufgaben im Unterwasserbereich benötigt. Hochaufgelöst kann in diesem Zusammenhang verstanden werden als die Erkennbarkeit von Objekten mit einer Größe von wenigen

Zentimetern. Insbesondere in Bereichen mit geringen Sichtweiten aufgrund starker Wassertrübung sind schallbasierte Systeme deutlich effizienter als optische Kamerasysteme. Dies hängt damit zusammen, dass Schallwellen aufgrund ihrer größeren Wellenlängen von Schwebeteilchen im Wasser deutlich weniger beeinflusst werden als optisches Licht. Ein weiterer Vorteil von Sonarsystemen für die Unterwasservisualisierung besteht darin, dass sie im Unterschied zur konventionellen optischen Bildgebung mit Videokameras native dreidimensionale Rekonstruktionen der abgebildeten Umgebung liefern.

Durch die Auswertung der verschiedenen Laufzeiten der empfangenen Echosignale lassen sich dreidimensionale Punktwolken der reflektierenden Strukturen im Raum generieren, welche dann anschließend exakt vermessen oder für eine Merkmalsextraktion genutzt werden können.

Bei der Erstellung dreidimensionaler Bildrekonstruktionen mit Sonarsystemen können zwei prinzipielle Aufnahmemodi unterschieden werden. Zum einen können eine oder mehrere räumliche Dimensionen durch eine Bewegung der Antenne während der Aufnahme erzeugt werden. Zum anderen kann die Aufzeichnung der gesamten dreidimensionalen Bilddaten aus einer festen Antennenposition heraus erfolgen. Systeme, welche während der Aufnahme bewegt werden müssen, um dreidimensionale Bilddaten akquirieren zu können, sind in der Regel weniger komplex bezüglich ihres Aufbaus sowie der Art der Bildverarbeitung und daher meist günstiger. Allerdings ermöglichen solche Systeme keine volumetrische Bildgebung in Echtzeit, da die einzelnen aufgezeichneten Bildschichten erst korrekt zusammengefügt werden müssen, um eine dreidimensionale Objektoberfläche zu ergeben. Solche Systeme eignen sich jedoch für alle Messaufgaben, bei denen Echtzeitfähigkeit keine Rolle spielt. Sie können somit etwa für die Vermessung von Gewässerböden oder Inspektionen von Unterwasserbauwerken oder auch Schiffswänden eingesetzt werden. Bei solchen Messaufgaben kann die Datenaufnahme getrennt von der Bildrekonstruktion und Auswertung erfolgen, ohne dass ein Informationsverlust entsteht.

Systeme, welche eine echtzeitfähige Volumenbildgebung erlauben, müssen in der Lage sein, dreidimensionale Bilddaten aus einer fixen Position heraus zu akquirieren und diese dann innerhalb kürzester Zeit in Bildrekonstruktionen zu überführen. Die Antennen dieser Systeme müssen zweidimensional segmentiert sein, um die Einfallswinkel der Echosignale in zwei zueinander senkrechten

Raumrichtungen detektieren zu können. Die dritte räumliche Dimension lässt sich dann über die Laufzeitinformation der Echosignale gewinnen. Sowohl der Aufbau als auch die Art und Weise der Datenverarbeitung sind bei solchen volumetrischen Sonarsystemen in der Regel komplexer als bei den oben beschriebenen scannenden Systemen. Daher sind sie auch meist teurer. Allerdings sind Messaufgaben, welche eine volumetrische Bildgebung in Echtzeit erfordern, nur mit solchen Systemen möglich. Sie können beispielsweise für die Steuerung von Unterwasserfahrzeugen oder die Prozessvisualisierung bei Arbeiten unter Wasser eingesetzt werden.

Die Hauptabteilung Ultraschall des Fraunhofer IBMT hat innerhalb der letzten Jahre insgesamt drei verschiedene hochfrequente Sonarsysteme für eine hochaufgelöste Bildgebung auf kurze Distanz entwickelt und in Demonstratoren überführt. Eins dieser Systeme ist ein Fächerecholot (Multibeam Echosounder MBES) mit kombinierter Sende- und Empfangsapertur [DBF+12]. Bezüglich der oben gemachten Aussagen stellt dieses System ein scannendes System dar, welches die dritte Raumrichtung der volumetrischen Bilddaten über eine Bewegung der Antenne während der Aufnahme realisiert. Das Fächerecholot ist somit als nicht-echtzeitfähig zu charakterisieren, liefert jedoch hochaufgelöste zweidimensionale Bilddaten, welche im Anschluss an die Messung zu entsprechenden Volumendaten zusammengesetzt werden können. Die anderen beiden Sonarsysteme sind aufgrund ihrer zweidimensional segmentierten Antennen in der Lage, volumetrische Bilddaten aus einer festen Antennenposition heraus zu akquirieren und ermöglichen somit eine dreidimensionale Bildgebung in Echtzeit. Hierbei handelt es sich um ein System mit getrennter Sende- und Empfangsantenne in Mills Cross-Anordnung [DFW+14] sowie um ein System mit einer kombinierten Sende- und Empfangsantenne in Matrixanordnung [EBS+16]. Die Systeme werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Funktionsweise und ihrer Leistungsfähigkeit genauer vorgestellt und bezüglich ihrer Vor- und Nachteile für verschiedene Aufgaben im Bereich der Unterwasservisualisierung charakterisiert.

2 Bildgebende Sonarsysteme

2.1 Fächerecholot

Das entwickelte Fächerecholot besteht aus einer kombinierten Sende- und Empfangsantenne mit 128 einzelnen linear angeordneten Wandlerelementen sowie einem Sonar-Beamformer mit 128 separat adressierbaren Kanälen. Antenne und Elektronik sind in ein kompaktes seewasserbeständiges Gehäuse mit den Abmessungen 12 cm x 15 cm x 25 cm integriert. Abbildung 1 zeigt das Fächerecholot mit geöffnetem Gehäuse.



Abbildung 1: Fächerecholot mit Antenne und Beamformer

Die Antenne des Fächerecholotes verfügt über eine akustische Mittenfrequenz von 1 MHz und eine relative Übertragungsbandbreite von 80 %. Durch die Verwendung einer defokussierten Anregung strahlt das System einen Schallfächer mit einem Öffnungswinkel von etwa 40° in azimuthaler Richtung ab. Der Schallöffnungswinkel in Elevation beträgt etwa $2,3^\circ$. Das Betriebssystem des Fächerecholotes stellt eine Echtzeitrekonstruktion der generierten 2D-Bilder mit einer Bildrate von ca. 22 FPS (frames per second) bei einer Aufnahmetiefe von einem Meter zur Verfügung. Abbildung 2 zeigt einen Screenshot der Aufnahmesoftware.

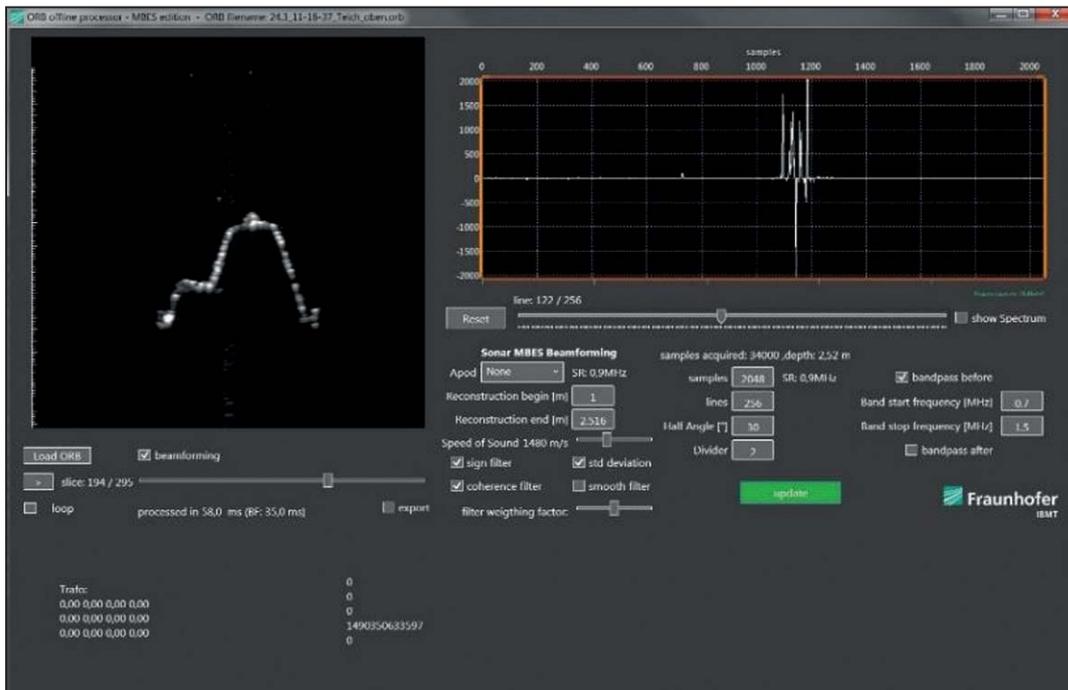


Abbildung 2: Betriebssystem des Fächerecholotes

Hier lassen sich auch alle notwendigen Aufnahme- und Filtereinstellungen für den Betrieb des Systems treffen.

Das System arbeitet im Sende-/Empfangsmodus und zeichnet bei jedem Aufnahmeereignis ein 2D-Bild der beschallten Umgebung auf. Durch eine Bewegung des Systems während der Aufnahme in elevationaler Richtung können die einzelnen rekonstruierten Bildschichten derart zusammengesetzt werden, dass eine dreidimensionale Rekonstruktion des gesamten Volumens entsteht. Diese Bildzusammensetzung funktioniert jedoch nur dann fehlerfrei, wenn die Position der Antenne zu den jeweiligen Aufnahmezeitpunkten exakt aufgezeichnet wurde. Ansonsten kommt es zu Verzerrungen oder Versatzstellen im rekonstruierten Volumen. Die Positionsinformationen der Antenne während der Bewegung können entweder an Luft über ein GPS aufgezeichnet werden oder unter Wasser durch das Führungssystem des Trägerfahrzeuges bereitgestellt werden.

Zur Evaluierung der Auflösungsfähigkeiten des Fächerecholotes wurden Messungen an einem Phantom in einem Messbecken mit einer Fläche von 6 m x 8 m und einer Tiefe von 6 m durchgeführt. Abbildung 3 zeigt das Messphantom mit den Abmessungen 40 cm x 90 cm x 120 cm. Zur Verbesserung der Reflexionen wurde die Oberfläche des Phantoms mit feinen Kieselsteinen versehen. Zusätzlich

wurden hügelartige Strukturen mit Durchmessern zwischen 5 cm und 8 cm in verschiedenen Abständen auf den einzelnen Plateaus des Phantoms aufgebracht.



Abbildung 3: Messphantom

Das Phantom wurde in einer Tiefe von etwa 3 m positioniert. Anschließend wurde das Fächerecholot in elevationaler Richtung über das Phantom bewegt. Während der Aufnahme wurde die Position der Antenne mitverfolgt, um die einzelnen Bildschichten anschließend fehlerfrei aneinandersetzen zu können. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Bildrekonstruktion. Form und Proportionen des Objektes sind realitätsgetreu wiedergegeben und die zusätzlich aufgebrachten Hügelstrukturen lassen sich gut erkennen. Sie sind allerdings in elevationaler Richtung ausgedehnt, eine Folge der Größe des Schallöffnungswinkels in dieser Richtung.

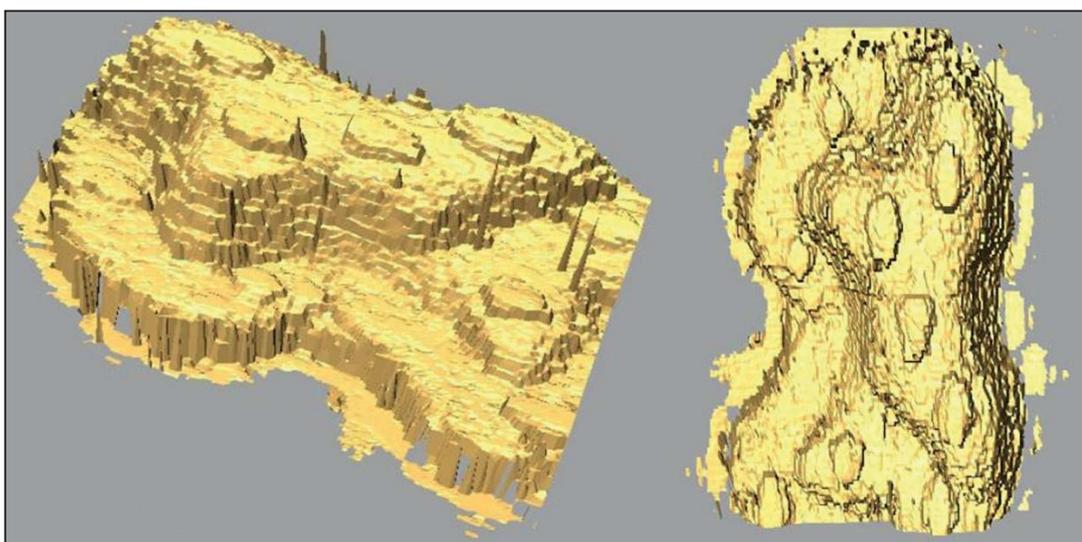


Abbildung 4: Rekonstruiertes Messphantom

2.2 3D-Sonarsystem mit Mills Cross-Antenne

Bei diesem System sind die Sende- und die Empfangsantenne getrennt und in einer Mills-Cross-Konfiguration angeordnet. Beide Antennen verfügen über 128 einzelne Wandlerelemente mit einer akustischen Mittenfrequenz von 1,75 MHz und einer relativen Übertragungsbandbreite von 55 %. Abbildung 5 zeigt die Antenne des Sonarsystems.

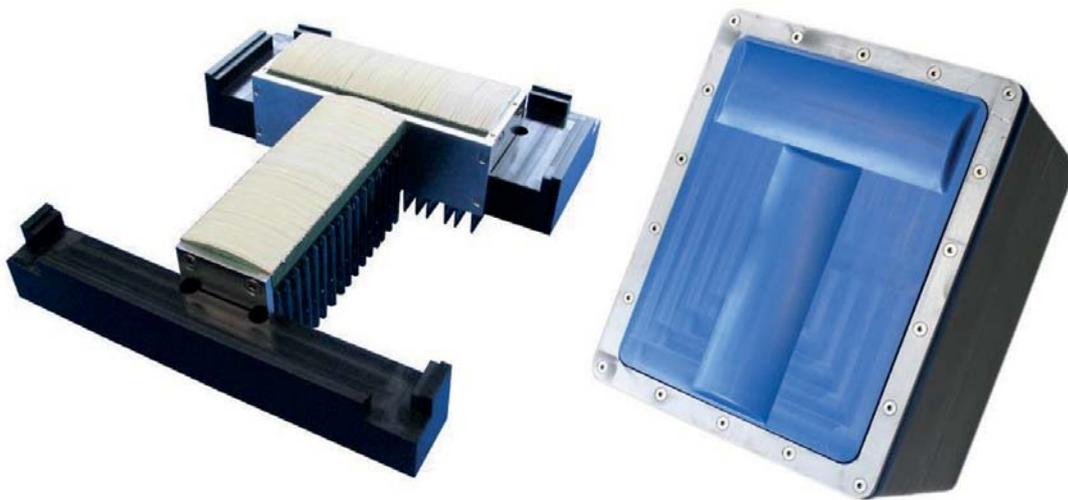


Abbildung 5: 3D-Sonarantenne in Mills Cross-Anordnung

Durch die segmentierten Sende- und Empfangsaperturen können die Schallfelder des Systems unabhängig voneinander im ausgeleuchteten Volumen bewegt werden. Hierdurch kann von einer fixen Antennenposition aus die Umgebung gescannt und in eine dreidimensionale Abbildung überführt werden. Durch die Krümmung der einzelnen Wandlerelemente kann die Antenne insgesamt einen Sektor von $30^\circ \times 30^\circ$ erfassen. Die Verwendung frequenzkodierter Sendesignale ermöglicht es dem System, verschiedene Schallfächer unter verschiedenen Winkeln zeitgleich abzustrahlen. Durch eine Dekodierung der empfangenen Echosignale vor der Bildrekonstruktion können die einzelnen Schallfächer wieder getrennt werden. Hierdurch wird eine Erhöhung der Bildrate bis hin zu wenigen Volumen pro Sekunde bei einer maximalen Bildtiefe von etwa 20 m erreicht.

Zur Validierung der Auflösungsigenschaften wurde ein Phantom einer Haftmine (mine-like object) in einem Abstand von etwa 3 m gemessen. Abbildung 6 zeigt das Phantom mit einem Durchmesser von 34 cm und einer Höhe von 10 cm.



Abbildung 6: Phantom einer Haftmine

Die Antenne des Systems wurde zentrisch über dem Phantom platziert und während der Messung nicht bewegt. Abbildung 7 zeigt das Ergebnis der Bildrekonstruktion. Das Objekt ist klar zu erkennen. Auch hier sind Form und Proportionen unverfälscht wiedergegeben. Das räumliche Auflösungsvermögen ist vergleichbar mit dem des Fächerecholotes.

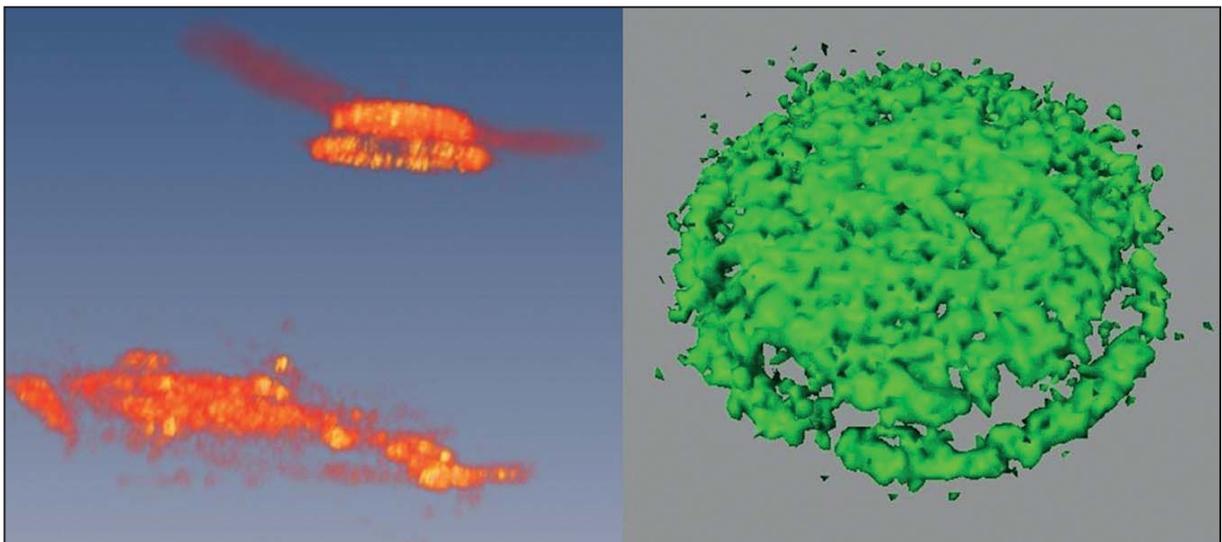


Abbildung 7: Rekonstruktion des Haftminen-Phantoms

Durch die Messung aus einer fixen Position heraus kommt es beim 3D-System jedoch zu Ausbrüchen und Fehlstellen im rekonstruierten Bild. Dies kommt daher, dass nur gewisse Teile der Objektoberfläche die auftreffenden Schallstrahlen zur Antenne reflektieren. Je nach Ausrichtung der Oberflächen zur Antenne können von gewissen Bereichen keine Echosignale empfangen werden. Dies führt dann zu den Fehlstellen in der Rekonstruktion.

2.3 3D-Sonarsystem mit Matrixantenne

Das aktuellste bildgebende Sonarsystem am Fraunhofer IBMT stellt ebenfalls ein echtzeitfähiges volumetrisches Bildgebungssystem dar. Im Unterschied zum Mills-Cross-System besteht die Antenne in diesem Fall aus 32 x 32 einzelnen Wandlerelementen in Matrixanordnung, welche als kombinierte Sende- und Empfangsapertur fungieren. Abbildung 8 zeigt die Antenne des Systems.

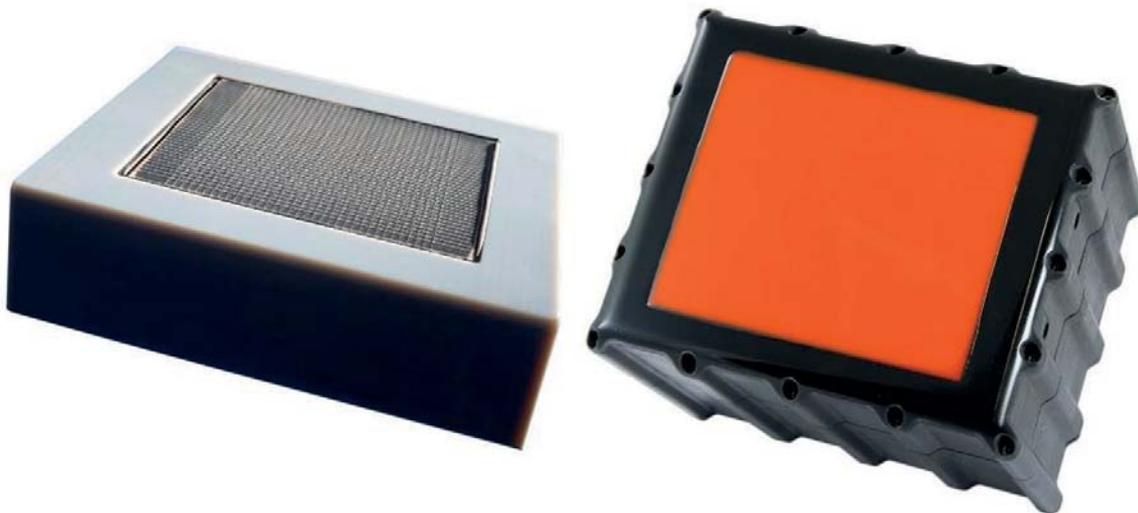


Abbildung 8: 3D-Sonarantenne in Matrixanordnung

Zum Ansteuern und Auslesen der Antennenelemente wird ein 128-kanaliger Sonar-Beamformer mit einem 1:8 Multiplexer je Kanal verwendet. Hierdurch lassen sich die 1024 einzelnen Wandlerelemente steuern. Analog zum Fächer-echolot wird auch hier durch die Verwendung einer defokussierten Ansteuerung eine Aufweitung des abgestrahlten Schallfeldes erreicht, hier jedoch in zwei Dimensionen. Somit kann die Antenne einen Sektor von bis zu $40^\circ \times 40^\circ$ abstrahlen. Durch die Variation der verwendeten Sendedelays ist eine dynamische Anpassung des Sendeschallfeldes der Antenne möglich. Somit kann der Bediener während des Betriebs zwischen einem größeren Sichtfeld (stärkere Defokussierung) und einem höheren Bildkontrast in einem geringen Sichtbereich (geringere Defokussierung) wählen. Während das Sonarsystem mit Mills-Cross-Antenne die Umgebung sequentiell rastert um eine dreidimensionale Abbildung zu generieren, geschieht bei diesem System die Bildgebung prinzipiell aus einem Sende- und Empfangsereignis. Dies erhöht die erreichbare Bildrate.

Die Auflösungseigenschaften des 3D-Sonarsystems mit Matrixantenne wurden mit Hilfe von Rasengittersteinen validiert, welche in einer Distanz von 3 m vermessen wurden. Die Steine hatten eine Länge von 90 cm und eine Breite von 40 cm. Die quadratischen Aussparungen in den Steinen hatten jeweils eine Fläche von 9 cm x 9 cm. Abbildung 9 zeigt die Rasengittersteine auf einem Trägergerüst.



Abbildung 9: Rasengittersteine

Analog zu den Messungen mit dem Mills-Cross-System wurde auch hier die Antenne mittig oberhalb des Messobjektes platziert und während der Messung nicht bewegt. Abbildung 10 stellt das Ergebnis der Rekonstruktion dar. Die Form der Rasengittersteine ist unverfälscht wiedergegeben und die quadratischen Aussparungen sind deutlich sichtbar. Auch bei diesem System kann eine Auflösungsfähigkeit vergleichbar der des Fächerecholotes festgestellt werden.

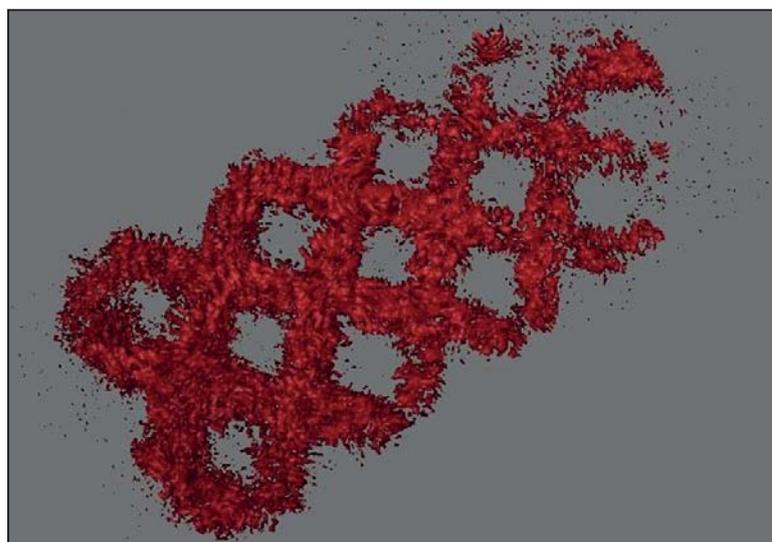


Abbildung 10: Rekonstruktion der Rasengittersteine

Wie auch bei der Rekonstruktion des Haftminen-Phantoms zeigen sich jedoch auch Ausbrüche und Fehlstellen im rekonstruierten Bild. Diese sind ebenfalls auf die feste Position der Antenne relativ zum Messobjekt zurückzuführen.

3 Zusammenfassung

Drei verschiedene bildgebende Sonarsysteme wurden vorgestellt und hinsichtlich ihrer Funktionsweise und Abbildungseigenschaften evaluiert. Die räumlichen Auflösungsfähigkeiten der Systeme sind vergleichbar. Alle Systeme arbeiten in einem Bereich bis etwa 20 m und können Strukturen im Zentimeterbereich in einer Messentfernung von wenigen Metern darstellen. Dieses Auflösungsvermögen wird derzeit von keinem anderen kommerziell erhältlichen volumetrischen Sonarsystem erreicht. Die Systeme unterschieden sich hauptsächlich in der Art und Weise der Bildgenerierung. Während das Fächerecholot während der Messung bewegt werden muss, um eine dreidimensionale Abbildung der Umgebung zu rekonstruieren, leisten die beiden 3D-Systeme dies aus einer festen Position heraus. Durch die Beschallung eines Objektes aus verschiedenen Positionen heraus, werden mehr Echosignale von unterschiedlichen Bereichen der Objektoberfläche gewonnen, wodurch die Rekonstruktionen des Fächerecholotes weniger Ausbrüche und Fehlstellen aufweisen als die der 3D-Systeme. Eine solche kumulative Objektrekonstruktion aus verschiedenen Perspektiven ist auch für die 3D-Systeme anzustreben, jedoch muss sie hier während der Messung erfolgen, um die Echtzeitfähigkeit der 3D-Systeme nicht zu beeinträchtigen. Auch hier ist dann eine Positionserfassung der Antenne während der Messung notwendig, um bei der Bildüberlagerung keine Artefakte zu erzeugen. Das 3D-System mit Matrixantenne besitzt gegenüber dem Mills-Cross-System den Vorteil eines dynamisch einstellbaren Sendeschallfeldes sowie einer höheren Bildwiederholrate aufgrund der Bildgenerierung aus prinzipiell einem Sende- und Empfangsereignis. Die Forschungsgruppe befasst sich derzeit mit der Weiterentwicklung der Rekonstruktions- und Filteralgorithmen zur Verbesserung der Bildqualität.

Literatur

- [DBF+12] C. Degel, F. J. Becker, H. Fonfara, H. J. Welsch, H. Hewener, M. Fournelle, S. Tretbar: Optimized MBES antenna and system for high resolution sonar imaging and AUV applications. International Oceans Conference and Exhibition, Oktober 2012, Hampton Roads, Virginia, USA.
- [DFW+14] C. Degel, H. Fonfara, H. J. Welsch, F. J. Becker, H. Hewener, M. Fournelle, S. Tretbar: 3D sonar system based on mills cross antenna configuration. International Oceans Conference and Exhibition, September 2014, St. John's, Neufundland, Kanada.
- [EBS+16] M. Ehrhardt, F. J. Becker, D. Speicher, H. Fonfara, H. J. Welsch, M. Fournelle, C. Degel, S. Tretbar: Evaluation of a high-resolution real-time capable 3D sonar camera for deep sea operation. International Oceans Conference and Exhibition, September 2016, Monterey, USA.

Anhang

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

Go-3D 2011: Computergraphik für die Praxis

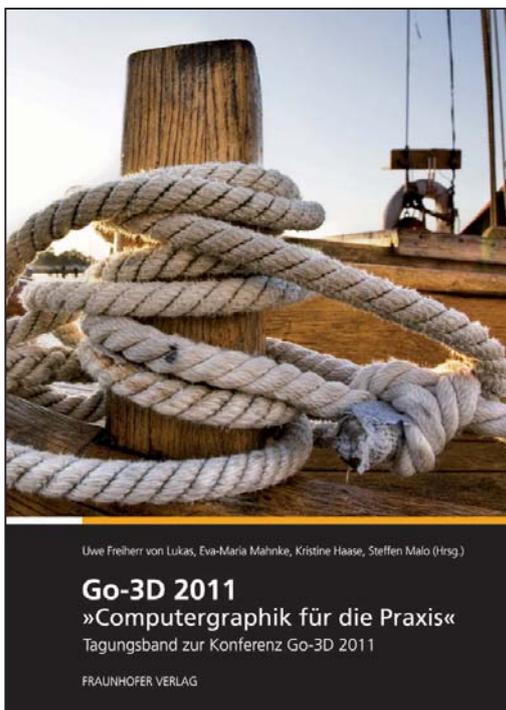
Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2011

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

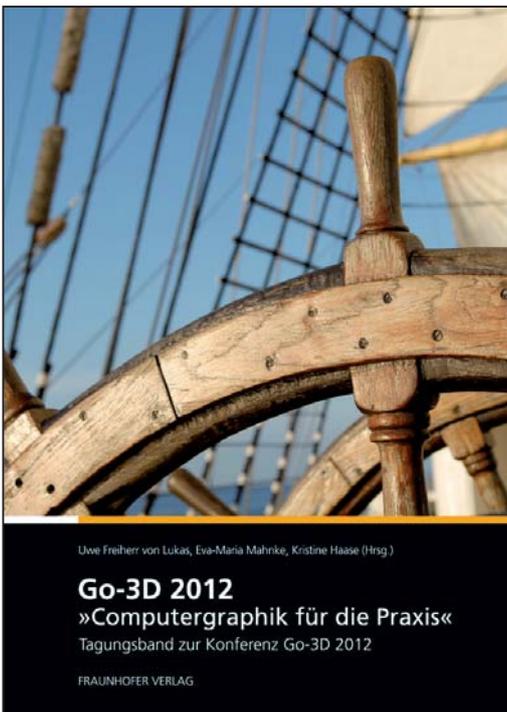
Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2012

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-Geometrieerfassung 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-Protokolloierung 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, Kristine Haase, Eva-Maria Mahnke (Hrsg.)

Go-3D 2013: Computergraphik für die Praxis

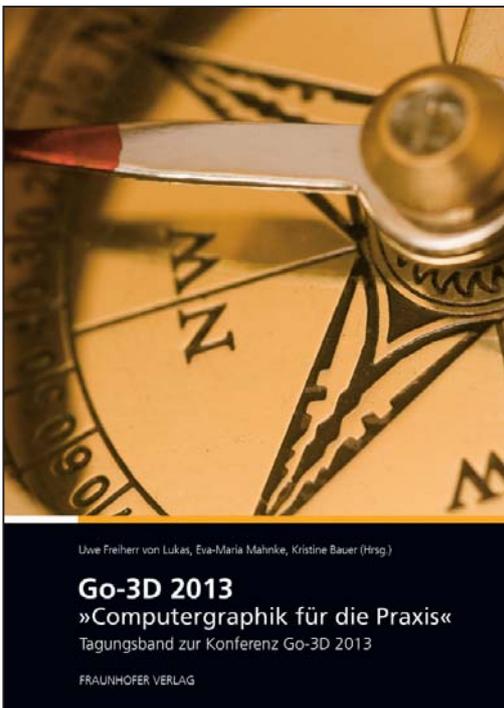
Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2013

2013, 175 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen, kartoniert

36 Euro

Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0594-3

Die Konferenz Go-3D 2013 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 3D-Erfassung über die Erstellung maritimer 3D-Applikationen bis zu Virtuellen Trainingsumgebungen. Highlights sind in diesem Jahr Vorträge zu einem skalierbaren 3D-Formsensor, 3D in Visualisierung und Simulation für interaktives Training, 3D-Rekonstruktion auf dem Handy und aus Internetdaten sowie die Ergebnisse einer Studie zu den Marktperspektiven von 3D-Anwendungen in der maritimen Industrie. 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 2015: Computergraphik für die Praxis

Tagungsband zur Konferenz Go-3D 2015

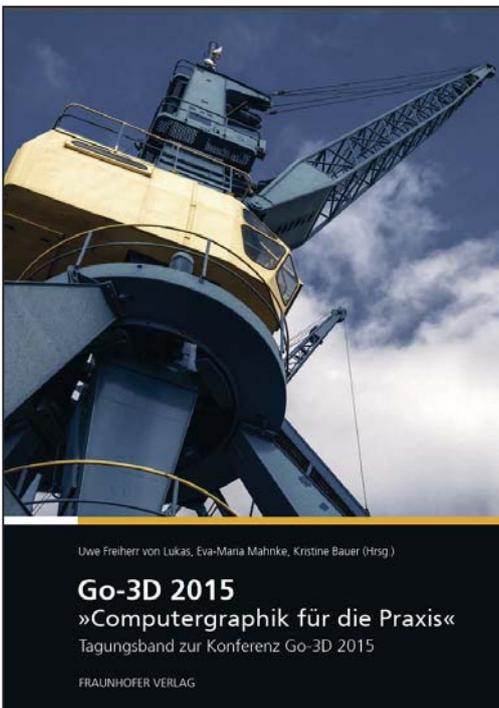
2015, 203 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen, kartoniert
36 Euro

Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0912-5

Die Konferenz Go-3D 2015 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 3D-Erfassung über die Erstellung maritimer 3D-Applikationen bis zu Virtuellen Trainingsumgebungen.

Highlights sind in diesem Jahr Vorträge über optische Messtechnik für den Unterwassereinsatz, über die Nutzung von VR zur Erhebung von nautischen Prozessen, 3D-Webtechnologien in der Cloud und an Bord sowie Highend-3D-Anwendungen für Visualisierung, Simulation, Training und Assistenz.

Veranstalter der Konferenz ist das Kompetenznetzwerk »Go-3D – Effiziente Prozesskette für 3D-Computergraphik« in Zusammenarbeit mit dem ZGDV-Forum »3D maritim«.





ISBN 978-3-8396-1228-6



9 783839 612286