

# Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld

Werner Schreiber • Peter Zimmermann  
Herausgeber

# Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld

Das AVILUS-Projekt – Technologien  
und Anwendungen

Mit CD-ROM

 Springer

*Herausgeber*

Prof. Dr. Werner Schreiber  
c/o Volkswagen AG  
Postfach 1511  
38436 Wolfsburg  
werner.schreiber@volkswagen.de

Dipl.-Ing. Peter Zimmermann  
metaio GmbH  
Borkumer Strasse 24  
38518 Gifhorn  
virtualtechnologies@t-online.de

ISBN 978-3-642-20635-1      e-ISBN 978-3-642-20636-8  
DOI 10.1007/978-3-642-20636-8  
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

*Einbandentwurf:* WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

## Geleitwort des BMBF

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sind bereits seit vielen Jahren der Innovationsmotor Nr. 1. Mehr als 80 Prozent der Innovationen in den in Deutschland starken Anwendungsfeldern/ Branchen Automobil, Medizintechnik und Logistik sind IKT-getrieben. Auch in der Hightech-Strategie 2020 der Bundesregierung gehört deshalb die Kommunikation zu einem der fünf übergeordneten gesellschaftlichen Bedarfslfelder und die IKT zu den maßgeblichen Schlüsseltechnologien.

Bereits in den letzten Jahren wurden neue Förderansätze entwickelt, um Innovationen voranzutreiben. Durch Innovationsallianzen und Technologieverbände sollen Brücken zwischen Technologieentwicklung und Anwendung geschlagen werden. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden unterstützt durch eine IuK-technologieübergreifende Förderung von FuE-Vorhaben, vereinfachte Förderverfahren, Bildung einer zentralen Anlaufstelle sowie Verkürzung der Zeit zwischen Antragstellung und abschließender Förderentscheidung und Mittelbereitstellung.

Eine dieser Innovationsallianzen - die *Innovationsallianz Virtuelle Techniken* - hat sich aus mehreren Projekten gebildet, die als Verbundprojekte gefördert wurden. Treibende Kraft war im Fall der Projekte *AVILUS* und *AVILUSplus* ein Industriekreis, der sich in der Folge eines früheren Leitprojektes (ARVIKA) aus Partnern der Industrie und von KMU gebildet hatte. Die Bildung dieses Industriekreises ist ein positives Beispiel erfolgreicher früherer Förderpolitik, haben sich die Teilnehmer doch auch unabhängig von Fördermaßnahmen weiter aktiv mit der Thematik der Erweiterten Realität (Augmented Reality) auseinander gesetzt und gemeinsam Projekte vorangetrieben.

Aus diesem Industriekreis heraus wurde der Wunsch nach einer umfassenderen Auseinandersetzung mit den Themen der Virtuellen Techniken und der Ausweitung auf den gesamten Lebenszyklus-Prozess artikuliert. Hierbei spielten natürlich wirtschaftliche und wettbewerbliche Überlegungen eine große Rolle. Deutschland als Hochlohnland ist darauf angewiesen, seinen Innovationsvorsprung nicht nur zu halten, sondern möglichst weiter auszubauen. Unternehmen aus Industrie und KMU müssen dafür eng abgestimmt mit der Wissenschaft weitere gemeinsame Anstrengungen unternehmen, bei Technologieentwicklung und Anwendung voran zu kommen. Das BMBF unterstützt diese Anstrengungen nachdrücklich mit seiner Förderpolitik.

Der Antrag für das Verbundprojekt *AVILUS* führte ein leistungsfähiges Konsortium zusammen, eine ausgewogene Mixtur aus Industrie, KMU und Wissenschaft. Es wurde ein Konzept vorgestellt, das in einer Matrix-Struktur Anwendungen und Technologien zusammenführt. Dies wurde erreicht, in dem Integratoren die unterschiedlichen notwendigen Technologien zusammenführten und Demonstratoren generierten, die in von den industriellen Anwendungspartnern kon-

zipierten Szenarien sodann evaluiert werden konnten. Ein wesentliches Kriterium für die Demonstratoren war dabei der menschenzentrierte Ansatz, um Hemmschwellen bei der Nutzung möglichst gering zu halten.

Am Ende des Verbundvorhabens hat die Präsentation der Ergebnisse gezeigt, dass im Projekt wichtige Innovationen für den Einsatz der Virtuellen Technologien auch in der industriellen Praxis erarbeitet wurden. Die Virtuellen Technologien sind nicht länger in der Phase einer experimentellen Entwicklung im Labor, sie müssen sich den Anforderungen der Praxis stellen. Für die nächsten Entwicklungsschritte wird dies eine neue Herausforderung sein.

Das Projekt AVILUS wurde vom BMBF im Zeitraum März 2008 bis April 2011 mit ca. 21,0 Mio. € gefördert. Der Gesamtmiteinsatz inklusive der Eigenmittel der Projektpartner aus Industrie und KMU betrug ca. 42,0 Mio. €.

Mit dem vorliegenden Bericht zum Verbundprojekt AVILUS in Buchform wird ein umfassender Eindruck von den vielfältigen Ergebnissen geliefert. Highlights der Ergebnisdarstellung sind aber auch das Video mit Ergebnissen sowohl aus den Szenarien wie auch aus einzelnen Technologien sowie ein beigefügtes „Magic Book“, in dem der Leser einen kleinen Einblick in die mannigfaltigen Möglichkeiten der Erweiterten Realität „hautnah“ erhält. Sie alle wecken die Neugier und lassen die Spannung wachsen, welche Entwicklungsschritte wohl folgen werden.

Unser Dank und unsere Anerkennung gilt daher allen Projektbeteiligten und insbesondere dem professionellen Projektmanagement unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Werner Schreiber von Volkswagen.

Bonn, im Juni 2011

MinDirig Dr. Bernhard Rami  
Leiter der Unterabteilung Schlüsseltechnologien für Wachstum  
Bundesministerium für Bildung und Forschung

# Vorwort

Die Bedeutung der Virtuellen Techniken im Bereich der Industrie und der allgemeinen Anwendungen stieg in den vergangenen 10 Jahren kontinuierlich an. Eine Besonderheit dieses Anstiegs ist die extensive Zusammenarbeit von Unternehmen aus der Industrie als primäre Anwender und Treiber der Technologie sowie mittelständischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen als Technologielieferanten und Technologietreiber. Die enge Verzahnung mit dem damit verbundenen vertrauensvollen Austausch bildete die Grundlage für den Erfolg des Projektes.

Im Laufe des Projektes konnten anhand von verschiedenen Szenarien sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Potenziale des Einsatzes der Virtuellen Techniken in den unterschiedlichen Phasen des Produkt-Lebenszyklus aufgezeigt und nachgewiesen werden. Parallel zu den Forschungsarbeiten entstand ein Markt für Hard- und Softwareprodukte. Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen hierbei eine weltweit anerkannte und führende Rolle übernommen haben. Diese Rolle gilt es zu sichern.

Allerdings gibt es auf dem Gebiet der Virtuellen Techniken noch eine Vielzahl von Herausforderungen, die nur gemeinsamen von Technologielieferanten und Anwendungspartnern gemeistert werden können. Das erfordert eine gemeinsame und abgestimmte Forschung. Diese darf nicht als isolierte Bearbeitung eines technisch interessanten Punktes durchgeführt werden, sondern muss sich vielmehr am gesamten Produkt-Lebenszyklus orientieren. Eine solche Vorgehensweise ist die Voraussetzung für Ergebnisse, die wirtschaftlich umgesetzt werden können und damit zur Wertschöpfung sowie zum Erhalt und zur Neuschaffung von Arbeitsplätzen beitragen.

Die vergangenen Projekte (z.B. ARVIKA, ARTESAS) zeigten deutlich die Vorteile dieser Vorgehensweise und bestätigten den hier beschriebenen Weg. Das Projekt AVILUS mit seiner Einbindung in die Innovationsallianz Virtuelle Techniken setzte diesen Weg konsequent fort und bot damit auch das Potenzial, den Erfolgsweg weiterzugehen.

Unser besonderer Dank gilt Herrn Ministerialrat Dr. Rainer Jansen, BMBF und Herrn Ingo Ruhmann, BMBF, die das Projekt anregten, förderten und auch in schwierigen Zeiten vertrauensvoll begleiteten. Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei Herrn Dr. Bernhard Rami sowie Herrn Dr. Erasmus Landvogt, BMBF, die das Projekt während der Laufzeit übernahmen und die kontinuierliche Fortführung inklusive einer 2-monatigen Projektverlängerung sicherstellten.

Frau Dr. Ursula Grote, DLR, und Hr. Roland Mader, DLR, unterstützten das Projekt mit sehr großem Engagement von Seiten des Projektträgers. Damit standen in allen Projektphasen kompetente Ratgeber zur Verfügung. Dafür danken wir beiden sehr.

## VIII

Die Projektmitarbeiter der einzelnen Projektpartner haben hervorragende Arbeit geleistet und mit viel Begeisterung und Einsatz die Projektergebnisse ermöglicht. Auch ihnen gilt der Dank.

Für die Koordination und Zusammenführung der einzelnen Projektaktivitäten im Rahmen der Aufgaben der Konsortialleitung konnten wir Herrn Peter Zimmermann und Frau Tina Garz gewinnen. Für ihren Einsatz möchte ich ihnen ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Wolfsburg, im Juni 2011

Prof. Dr. Werner Schreiber  
Volkswagen AG, Konzern-Forschung, Forschung Virtuelle Techniken

Leiter der Innovationsallianz Virtuelle Techniken und des AVILUS-Projektes

**Am Projekt AVILUS waren die folgenden Firmen und Institutionen beteiligt:**

**KMU**

A.R.T. GmbH  
 fleXilution GmbH (im Projektverlauf  
 2010 übernommen durch ICIDO GmbH)  
 ICIDO GmbH  
 metaio GmbH  
 3DInteractive GmbH

**im Buchtext allgemein bezeichnet als**

A.R.T.  
 -  
 ICIDO  
 metaio  
 3DInteractive

**Industrie**

Airbus Operations GmbH  
 Carl Zeiss AG  
 VOITH Engineering Services GmbH  
 Daimler AG  
 EADS Deutschland GmbH  
 Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH  
 (HDW)  
 INDEX Werke Hahn & Tessky GmbH &  
 Co. KG  
 KUKA Roboter GmbH  
 KUKA Systems GmbH  
 Rittal GmbH & Co KG  
 Siemens AG  
 Volkswagen AG

Airbus  
 Zeiss  
 VOITH  
 Daimler  
 EADS  
 HDW  
 INDEX  
 KUKA Roboter  
 KUKA Systems  
 Rittal  
 Siemens  
 Volkswagen

**Hochschule/ Institut**

ifak e.V. Magdeburg  
 Fraunhofer-Gesellschaft IFF, Magdeburg  
 RWTH Aachen / IAW  
 RWTH Aachen / WZL  
 TU Clausthal  
 Karlsruher Institut für Technologie KIT  
 TU München / CAMP-AR  
 TU München / itm  
 Universität Koblenz-Landau/ ICV  
 Universität Magdeburg / Institut für  
 Arbeitsmedizin  
 Universität Ulm / Institut für  
 Psychologie und Pädagogik

ifak  
 FhG/IFF  
 RWTH/IAW  
 RWTH/WZL  
 TU Clausthal  
 KIT  
 TUM/CAMP AR  
 TUM/itm  
 Universität Koblenz  
 Universität Magdeburg/IAM  
 Universität Ulm



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Das Verbundprojekt AVILUS</b> .....	<b>4</b>
2.1 Hintergrund und Motivation .....	4
2.2 Ausgangssituation und inhaltliche Schwerpunkte .....	5
2.2.1 Ausgangssituation .....	5
2.2.2 Inhaltliche Schwerpunkte .....	6
2.3 Stand der Wissenschaft und Technik .....	10
2.4 Projektorganisation .....	12
2.4.1 Projektpartner .....	12
2.4.2 Projektmanagement .....	15
2.4.3 Projektplan und Meilensteine .....	18
<b>3 Technologien</b> .....	<b>19</b>
3.1 Information im PLM-Prozess .....	19
3.1.1 Integration von Information aus dem Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus und Datenschnittstellen .....	20
3.1.2 Mechatronisches Anlagenmodell und die hybride Inbetriebnahme im Konzept der digitalen Fabrik .....	27
3.1.3 Literatur .....	30
3.2 Simulation und Rendering .....	32
3.2.1 Kollisionserkennung .....	33
3.2.2 Physikalische Simulation flexibler Bauteile (ICIDO) .....	41
3.2.3 Physikalische Simulation starrer Bauteile (ICIDO) .....	42
3.2.4 Anlagensimulation .....	45
3.2.5 High Dynamic Range Rendering aus unterschiedlichen Datenquellen (ICIDO, Universität Koblenz) .....	60
3.2.6 Tone Mapping-Verfahren/Farbkalibrierung (Universität Koblenz, EADS, ICIDO, metaio) .....	61
3.2.7 Physikalisch plausible Simulation von Spiegelungen, Brechungen und Transparenzen (ICIDO, Universität Koblenz) .....	67
3.2.8 Rendering nahezu unbegrenzter Datenmengen (3DInteractive, ICIDO) .....	73
3.2.9 Effektive 2D- und 3D-Editoren für sehr große Datenszenen (3DInteractive) .....	76
3.2.10 Literatur .....	79
3.3 Lokalisation und Tracking .....	83
3.3.1 Industrielle Messtechnik .....	84
3.3.2 Markerloses Tracking .....	90
3.3.3 Propagation von Unsicherheiten .....	95
3.3.4 Motion Capture für Ergonomieuntersuchungen .....	101
3.3.5 Erweiterung des Messvolumens .....	105

3.3.6 Literatur .....	108
3.4 Interaktion .....	110
3.4.1 Physikalisch plausible Interaktionsmetaphern .....	111
3.4.2 Einfache Benutzerinteraktion / Bedienmetapher aus dem Spieleumfeld .....	116
3.4.3 Literaturverzeichnis .....	122
3.5 Geometrieerfassung .....	124
3.5.1 Fotogrammetrie .....	126
3.5.2 Auswertung der Geometrieerfassung .....	134
3.5.3 Erfassung der (Beleuchtungs-) Umgebung für realistische Einbettung von Objekten .....	139
3.5.4 Literatur .....	147
<b>4 Anwendungen in Design, Konstruktion und Planung .....</b>	<b>149</b>
4.1 Visuelle Absicherung .....	151
4.1.1 Realistische Berechnung und Darstellung von Spiegelungen (Volkswagen) .....	151
4.1.2 Visuelle Anmutung von Flugzeugkabinen und Sichtbarkeits- untersuchungen im Flugzeugcockpit (EADS) .....	152
4.2 Funktionale Absicherung .....	156
4.2.1 Prozessmodellierung zur Untersuchung von Mensch-Maschine- Schnittstellen im virtuellen Flugzeugcockpit (EADS) .....	157
4.2.2 Funktionale Beurteilung von virtuellen Fahrzeuginterieurs (Volkswagen) .....	159
4.3 Absicherung der Herstellbarkeit .....	162
4.3.1 Absicherung der Herstellbarkeit an der SmartAutomation (Siemens, RWTH/WZL) .....	163
4.3.2 Informationsintegration (KUKA Systems) .....	166
4.3.3 Visualisierung großer Datenmengen (Volkswagen) .....	168
4.3.4 VR-Meeting (HDW) .....	170
4.3.5 Integrierte Prozesskette Optik (Carl Zeiss) .....	174
4.3.6 MotionCapturing zur Absicherung der Herstellbarkeit (Volkswagen) .....	181
4.4 Brücke digitale/reale Welt .....	183
4.4.1 Soll/Ist-Vergleich von Betriebsmitteln (Volkswagen) .....	183
4.4.2 Automatische Durchlaufanalysen (Volkswagen) .....	185
4.4.3 Beladungssimulation eines Transportflugzeuges (VOITH) .....	187
4.4.4 Virtueller Modelldraht (HDW) .....	190
4.4.5 Durchgängige Konfiguration von Produkten mit automatisierter Generierung von MCAD-Daten (Rittal) .....	193
4.4.6 Die Prozesskette Engineering – NC Verarbeitung – Produktion (Rittal) .....	194
4.4.7 Abgleich Geometrien (KUKA Systems) .....	196
4.4.8 Abgleich zwischen digitaler und realer Welt an der SmartAutomation (Siemens, RWTH/WZL) .....	199

4.4.9 Bauteilvalidierung- Haltervalidierung (Airbus) .....	202
4.4.10 Kollisionsüberprüfung – Schleppkurven (Airbus) .....	204
4.4.11 Rekonstruktion von Objekten (Airbus) .....	206
4.4.12 AR Unterstützung bei der Bauabnahme (Daimler) .....	207
4.5 Literatur .....	211
<b>5 Anwendungen für Fertigung, Betrieb, Service und Wartung .....</b>	<b>213</b>
5.1 Hybride Inbetriebnahme .....	215
5.1.1 Das Mechatronische Anlagenmodell (KUKA Systems) .....	217
5.1.2 Hybride Inbetriebnahme im Anlagenbau (KUKA Systems) .....	219
5.1.3 Hybride Inbetriebnahme in der Logistik (KUKA Roboter) .....	222
5.1.4 Hybride Inbetriebnahme sensorbasierter Roboterapplikationen (KUKA Roboter).....	224
5.1.5 Programmieren vor Ort mit getracktem Zeigestift (KUKA Roboter).....	227
5.2 Hybrider Betrieb .....	230
5.2.1 Nutzerbezogene Entwicklung und Untersuchung AR-basierter Werkerassistenzsysteme (FhG/IFF, Universität Magdeburg/IAM, Universität Ulm).....	230
5.2.2 Digitale Arbeitsplatzanweisungen (Rittal) .....	238
5.2.3 Augmented Reality in der Fertigung (Volkswagen).....	240
5.3 Betriebsparallele Simulation.....	242
5.3.1 Anwendungen der Betriebsparallelen Simulation für Fertigungs- anlagen (Siemens, TUM/itm) .....	244
5.3.2 Virtuelle Antriebe für Werkzeugmaschinen und Anlagen – Anwendung (Siemens, RWTH/WZL).....	246
5.3.3 Betriebsparallele Simulation in der Robotik (KUKA Roboter) .....	252
5.4 Multimodale Unterstützung im Service .....	256
5.4.1 Maintenance in veränderlichen Arbeitsumgebungen (Siemens, RWTH/WZL).....	256
5.4.2 Entwicklung und Einsatz neuer Eingabe- und Kommunikations- geräte zur Unterstützung der interaktiven Kommunikation und intuitiven Programmierung eines Produktionssystems (KIT) .....	265
5.4.3 Mitarbeitertraining durch Projection-based Augmented Reality (Volkswagen) .....	271
5.5 Literatur .....	272
<b>6 Anwendungen für Präsentation und Training.....</b>	<b>275</b>
6.1 Game-based Learning – theoretische Grundlagen (Siemens, Universität Koblenz) .....	276
6.1.1 Lernen durch Computerspiele .....	277
6.1.2 Motivation durch Unterhaltung .....	277
6.2 Game-based Training – Virtual Plant (Siemens, Universität Koblenz) ..	279
6.2.1 Ziele .....	279
6.2.2 Pädagogisches Konzept.....	280

6.2.3 Technische Umsetzung.....	282
6.2.4 Pädagogische Evaluation.....	286
6.3 Game-based Learning im Service – GATSCAR (Volkswagen).....	288
6.4 AR basiertes Trainingstool in der Robotik (KUKA Roboter).....	294
6.4.1 KUKA Augmented Reality Viewer.....	294
6.4.2 Einblenden nicht sichtbarer Informationen .....	295
6.4.3 Einblenden virtueller Werkstücke .....	296
6.4.4 Handlungsanweisungen und -tracking.....	297
6.5 VR/AR basiertes Vertriebstool in der Robotik (KUKA Roboter, FhG/IFF).....	298
6.5.1 Rekonstruktion der realen Umgebung.....	298
6.5.2 Verteilte Renderlösungen .....	299
6.5.3 Schrittweise Validierung anhand des realen Aufbaus .....	301
6.6 Literatur .....	302
<b>7 Querschnittsthemen .....</b>	<b>303</b>
7.1 Systemergonomie.....	303
7.1.1 Entwicklungsunterstützung .....	304
7.1.2 Evaluation.....	306
7.2 Abstimmung der Technologien und der Anwendungen .....	315
7.3 Projekt-Veranstaltungen .....	316
7.3.1 Statustagung Innovationsallianz VT, Magdeburg 2009 .....	317
7.3.2 Statustagung AVILUS, AVILUSplus, Braunschweig 2011 .....	318
7.3.3 Schnittstellen-Workshop, Hannover 2009.....	319
7.3.4 Tracking-Contests .....	320
7.4 Literatur .....	321
<b>8 Zusammenarbeit mit anderen Verbundprojekten .....</b>	<b>322</b>
8.1 Die Innovationsallianz Virtuelle Techniken .....	322
8.2 AVILUSplus .....	323
8.3 Literatur .....	329
<b>9 Projektfazit.....</b>	<b>331</b>
9.1 Zusammenfassung und Ausblick .....	331
9.2 Verwertung .....	332
<b>10 Anhang .....</b>	<b>335</b>
10.1 Magic Book Anleitung.....	335
10.2 Projektplan.....	336
10.3 Autorenliste (alphabetisch) .....	337
10.4 Abkürzungsverzeichnis.....	340
10.5 Sachverzeichnis .....	343