

Thomas Bär, Ulrich Bockholt, Hilko Hoffmann, Eduard Jundt, Matthias Roth, Werner Schreiber, Ingo Staack, Peter Zimmermann und Konrad Zürl

---

T. Bär (✉)  
Daimler AG, Ulm  
e-mail: thomas.baer@daimler.com

U. Bockholt  
Fraunhofer Gesellschaft/ IGD, Darmstadt  
e-mail: Ulrich.Bockholt@igd.fraunhofer.de

H. Hoffmann  
DFKI GmbH, Saarbrücken  
e-mail: hilko.hoffmann@dfki.de

E. Jundt · W. Schreiber  
Volkswagen AG, Wolfsburg  
e-mail: eduard.jundt@volkswagen.de; werner.schreiber@volkswagen.de

M. Roth  
Siemens AG, Hamburg  
e-mail: matthias.roth@siemens.com

I. Staack  
ThyssenKrupp Marine Systems GmbH, Kiel  
e-mail: ingo.staack@thyssenkrupp.com

P. Zimmermann  
Virtual Technologies Consulting, Gifhorn  
e-mail: virtualtechnologies@t-online.de

K. Zürl  
Advanced Realtime Tracking GmbH, Weilheim i.OB  
e-mail: k.zuerl@ar-tracking.de

---

## Zusammenfassung

Ziel des BMBF-geförderten Verbundprojektes ARVIDA war die anwendungs- und nutzerorientierte Forschung, Entwicklung und Evaluation von zukunftsorientierten Technologien im Kontext der Virtuellen Techniken in Verbindung mit neuen und modernen Ansätzen des Semantic Web, mit dessen Hilfe Virtuelle Techniken über Dienste verbunden werden können, um zukünftig ein großes Maß an Interoperabilität unter Berücksichtigung von Echtzeitanforderungen sicherzustellen.

---

## Abstract

The goal of the German government funded joint project ARVIDA was the application and user user oriented research, development and evaluation of future oriented technologies in the context of Virtual Technologies in conjunction with new and state-of-the-art methodologies of the Semantic Web, to achieve interoperability between hardware- and software systems of different kind under realtime considerations.

---

## 1.1 Hintergrund und Motivation

Ziel des BMBF-geförderten Verbundprojektes ARVIDA war die anwendungs- und nutzerorientierte Forschung, Entwicklung und Evaluation von zukunftsorientierten Technologien im Kontext der Virtuellen Techniken (VT). Um zukünftigen Anforderungen an VT zu genügen, sollen und müssen die bislang eher monolithisch aufgebauten, geschlossenen, oft sehr anwendungsspezifischen VT-Systeme wesentlich modularer, interoperabler und insgesamt deutlich leichter mit anderen Softwaresystemen verbindbar werden.

Außerhalb der VT ist zu beobachten, dass das Web in hoher Entwicklungsgeschwindigkeit zu einer universellen und zugleich hoch verteilten und sehr modularen Ausführungsumgebung für durchaus sehr komplexe und funktionale Anwendungen aus vielen Fachdomänen wird. Es ist im Web-Kontext Stand der Technik, externe Dienste und Ressourcen über standardisierte und weltweit akzeptierte Schnittstellen und ohne den dahinterstehenden Programmcode kennen zu müssen, in neue Anwendungen einzubauen und zu nutzen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist dabei die mehr oder weniger lose Koppelung von Diensten und Ressourcen über standardisierte, maschinenlesbare Schnittstellen- und Dienstbeschreibungen.

Projektziel war, diesem erfolgreichen Vorbild zu folgen und moderne, etablierte Web-Technologien für VT-Systeme einzusetzen und an die besonderen VT-Rahmenbedingungen, wie z. B. die durchgängig geforderte Echtzeitfähigkeit, anzupassen. Ergebnis ist eine offen zugängliche, auf standardisierten Web-Technologien beruhende, ARVIDA-Referenzarchitektur (ARA), die Schnittstellen und Verhalten für typische Komponenten eines VT-Systems definiert und somit eine konkrete Dienstentwicklung für VT-Anwendungen

ermöglicht. Ziele waren der Machbarkeitsnachweis, die Konzeptentwicklung von Entwicklungswerkzeugen, fehlenden Komponenten und prototypischer VT-Dienste sowie die Schaffung einer Diskussionsgrundlage, wie auch sehr komplexe VT-Anwendungen sinnvoll modularisiert und offener gestaltet werden können. Die Testszenarien für den funktionellen Nachweis wurden dabei wie in vorangegangenen Projekten von Vertretern deutscher Branchen und Schlüsselindustrien entworfen, entwickelt und evaluiert.

Während in vorangegangenen Projekten (ARVIKA [1], ARTESAS [3], AVILUS [4]) die Entwicklung von grundlegenden VT aus dem Bereich Virtual Reality und Augmented Reality, insbesondere bei AVILUS in Verbindung mit einem phasenübergreifenden Produktmanagement im Vordergrund standen, lag in dem vorliegenden Projekt ARVIDA, ein starker Fokus auf der Interoperabilität, Kombinierbarkeit und Erweiterbarkeit von VT-Anwendungen (Abb. 1.1). Daneben wurden auch erhebliche Forschungsarbeiten im Bereich der Umwelterkennung (Laserscanning, Punktwolken, markerloses Tracking) geleistet. Die entwickelten Grundlagen wurden von den Industriepartnern zur Entwicklung hoch funktionaler VT-Anwendungen genutzt, die mehrere unterschiedliche Teilsysteme integrieren und somit erheblich weitergehende Anwendungen als bisher ermöglichen.

Unter Leitung der beteiligten Industrie und mit Anregung durch das BMBF-Referat 514 (Schlüsseltechnologien für Wachstum, IT-Systeme) wurde mit einem leistungsfähigen Konsortium aus KMU, Großindustrie und Forschungseinrichtungen (Hochschulen, Fraunhofer-Gesellschaft und DFKI) eine Initiative gegründet, die mit einer wirtschaftsgetriebenen Forschung die Voraussetzungen schuf, eine Produktisierung der Ergebnisse auch längerfristig zu ermöglichen. Ziel war es zugleich, das solide Kompetenzportfolio der beteiligten Unternehmen im Umfeld der VT und des Informationsmanagements in Verbindung mit neuesten Semantic Web-Technologien speziell im Hinblick auf den internationalen Wettbewerb auszubauen und zu stärken.

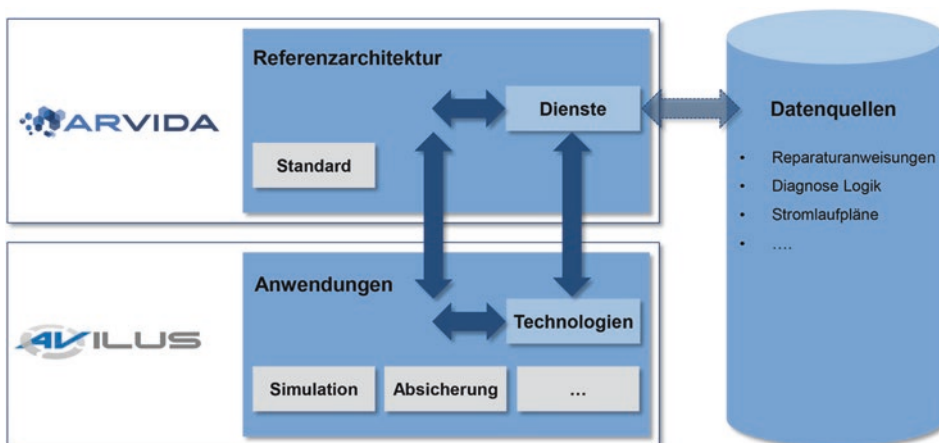


Abb. 1.1 Projektentwicklung von AVILUS zu ARVIDA

## 1.2 Ausgangssituation und inhaltliche Schwerpunkte

Der wirtschaftliche Erfolg des Standorts Deutschland hängt in entscheidendem Maße von der stetig steigenden Produktivität seiner Industrie ab. Ein wichtiger Baustein, um dieses Ziel zu erreichen und abzusichern, ist der Einsatz von Methoden der Digitalisierung bzw. Virtualisierung und Simulation von Produkten und Produktionsmitteln zur Unterstützung der Produktionsprozesse. Dies manifestiert sich in den neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet des Internet der Dinge und Industrie 4.0 sehr deutlich. Daher ist es auch von entscheidender Bedeutung, diese innovativen Werkzeuge und Methoden kontinuierlich weiter zu entwickeln. Den ersten Schritt eines solchen Wegs stellt die Forschung dar. Sie muss neben dem Schaffen von Wissen und Kompetenz auch den späteren nutzergerechten Transfer zum verkaufsfähigen Produkt bzw. für die die Produkte fertigenden Produktionsmittel als Ziel haben. Nur eine solche Vorgehensweise ermöglicht die Realisierung weiterer großer Potenziale.

Erhebliche Produktivitätspotenziale liegen in der Nutzung der produkt- und produktbegleitenden digitalen Information während des Lebenszyklus von der virtuellen bis zur realen Entstehung oder Nutzung. Synonym für den Produktlebenszyklus sind der digitale Produktentstehungsprozess bzw. die digitale Fabrik für den Produktionsmittel-lebenszyklus. Diese Schritte wurden in den vergangenen Jahren vollzogen und mit Erfolg in die täglichen Arbeitsabläufe der Industrie eingebracht. Dazu diente neben anderen Forschungsprojekten unter anderem auch das Verbundprojekt AVILUS. Auch die Lieferanten von PDM-Systemen leisteten hierzu erhebliche Beiträge.

In den letzten Jahren wurden im konstruktiven Verbund von Industrieinvestitionen und Fördermitteln des BMBF Voraussetzungen für eine weltweit führende Position der deutschen Industrie in der Entstehung und der Lebenszyklus begleitenden Verarbeitung digitaler Information geschaffen. Diese Grundlagen bilden die Basis für ein signifikantes Patentportfolio, für erfolgreiche Spin-Off-Unternehmen und für neue Arbeitsplätze sowie Produkte, die in definierten Segmenten erfolgreich Eingang gefunden haben. Zu den erfolgreichen Projekten in diesem Kontext zählt das MTI-Leitprojekt ARVIKA [1], in dem die Grundlagen für zukunftssträchtige Technologien im Kontext AR/VR für industrielle Anwendungen gelegt wurden. AR-/VR-Lösungen aus universitären Forschungslaboren mit eher optimierten Rahmenbedingungen wurden erstmals für industrielle Anwendungen mit rauen Umgebungsbedingungen demonstrierbar gemacht. Dies erfuhr international in Industrie und Wissenschaft besondere Anerkennung. Zur weiteren Intensivierung der im Projekt entstandenen Kontakte und zur nachhaltigen Sicherung dieser weltweit führenden Rolle bildete sich nach dem Abschluss des Projektes ARVIKA ein Konsortium namhafter Industrieunternehmen, der *Industriekreis Augmented Reality* (IK AR).

Als Beitrag zur *Hightech-Strategie der Bundesregierung* unterstützte der Industriekreis AR mit seinem 2007 beim BMBF eingereichten Positionspapier „Virtuelle Technologien und reale Produkte“ die zielorientierte und anwendungsgetriebene Weiterentwicklung virtueller Technologien. Mit der festgestellten Investitionsplanung allein bei den hier beteiligten Unternehmen in Höhe von rund 170 Mio. € im Zeitraum von fünf Jahren zur

Forschung und Entwicklung von Themen im Kontext des Positionspapiers fand diese Initiative konkret Eingang in die Definition eines von anfänglich vier Technologieverbünden im Rahmen von IKT2020 (Forschungsprogramm „Informations- und Kommunikationstechnologien“, [www.hightech-strategie.de/de](http://www.hightech-strategie.de/de)).

Durch Ermittlung konkreter Szenarien, abgestimmt unter den beteiligten Industriepartnern, wurden für die Festlegungen zum Projektkonzept für AVILUS zunächst Anwendungsfelder zusammengefasst. Mit der Beschreibung der entsprechenden anwendungsspezifischen Anforderungen erfolgten dann die Ableitung benötigter Technologien und daraus die Gruppierung zu einzelnen Technologiefeldern. Ausgehend von diesen Anwendungs- und Technologiefeldern wiederum wurden die einzubeziehenden Forschungspartner und weitere potenzielle Technologiezulieferer identifiziert.

**Architektur-Organisation** Die Verknüpfung der unterschiedlichen VT-Technologien untereinander sowie mit anderen in den Unternehmen verwendeten Systemen erfordert eine neue spezielle Softwarearchitektur oder eine Referenzarchitektur. Die Entwicklung einer solchen Referenzarchitektur und der darauf aufbauenden Nutzungsszenarien ist durch die Anforderungen an aktuelle und zukünftige VT-Anwendungen eine komplexe Aufgabe. Zur Durchführung und Überwachung dieser Aufgabe in dem Projekt mit einer großen Anzahl von Projektpartnern erforderte auch eine Weiterentwicklung der Organisationsstruktur, die allen Partnern eine unkomplizierte und umfassende Beteiligung an der Architekturentwicklung ermöglichte und sie gleichzeitig zur Mitarbeit verpflichtete. Die Gesamtorganisation oblag der Konsortialleitung. Im Rahmen der Projektsteuerung arbeitete eine zentrale Architekturgruppe. Diese entwarf die grundlegenden Schnittstellenbeschreibungen, Entwicklungswerkzeuge und andere notwendige Komponenten einer erfolgreichen Architektur, die im nächsten Schritt iterativ von themenspezifischen Arbeitsgruppen weiterbearbeitet und um zusätzliche Anforderungen ergänzt wurden. Im Laufe des Projektes wurden zusätzlich Arbeitsgruppen zu Themen wie Rendering, Tracking, Workflow, grundlegende Entwicklungskonzepte, virtuelle Menschmodelle, Streaming usw. initiiert.

Regelmäßige, im 3-Monatsrhythmus stattfindende Architekturtreffen boten ein weiteres Forum für alle Partner, ihre Anforderungen und gefundenen Konzeptansätze sowie ihre Erfahrungen beim Einsatz der Architekturkomponenten auszutauschen. Zu diesen Treffen waren ebenfalls nach bewährten Vorbildern einzelne Hackatons organisiert worden, um z. B. Schnittstellenbeschreibungen mit möglichst vielen Projektpartnern zu finalisieren. Ein weiteres Element dieser Treffen waren Vorträge aus der Architektengruppe zu spezifischen Architekturkonzepten, Entwicklungswerkzeugen und Evaluationsergebnissen, die somit zur Wissensvermittlung maßgeblich beitrugen.

Als Entwicklungs- und Kommunikationswerkzeuge kamen dabei die üblichen Git-Repositories für die Ablage und Verwaltung konkreter Softwareteile sowie ein MediaWiki [2] und ein Vokabularserver zum Einsatz. Das MediaWiki diente den Projektpartnern als äußerst flexible Austauschplattform für Diskussionsrunden, Dokumentationen und Beispiele sowie zur Organisation und Vorbereitung der jeweiligen

Architekturtreffen. Die entwickelten Schnittstellenbeschreibungen (Vokabulare) wurden auf einem öffentlich zugänglichen Vokabularserver abgelegt und über das HTTP-Protokoll genutzt.

---

### 1.3 Virtual und Augmented Reality in industriellen Anwendungen

Technologien der Virtual und Augmented Reality (VR/AR) konnten sich in zahlreichen industriellen Anwendungsfeldern etablieren und unterschiedlichste Anwendungsgebiete finden. Diese Entwicklung wird vor allen Dingen durch aktuelle Entwicklungen von Smartphone- und Tabletsystemen voran getrieben, die komplexe 3D-Anwendungen in mobilen Anwendungsszenarien unterstützen und die es ermöglichen, unsere reale Umgebung durch multimodale Sensorik zu erkennen, um das reale Umfeld mit der 3D-Datenwelt zu korrelieren. Ein weiterer Treiber sind Industrien, die hochkomplexe Produkte und damit entsprechend umfangreiche Produktmodelle und deren Daten als Unterstützung visualisieren möchten.

Somit werden VT-Anwendungen heute in sehr verschiedenen Einsatzszenarien vom High-End-PC-Cluster bis zum Smartphone auf unterschiedlichsten Plattformen und mit sehr unterschiedlichen Ein- und Ausgabemöglichkeiten genutzt. Dadurch entstehen sehr hohe Anforderungen an Plattformunabhängigkeit, Interoperabilität, Verfügbarkeit und Skalierbarkeit. Web-Technologien und damit einhergehende, dienstorientierte Systemarchitekturen werden in anderen Anwendungsdomänen erfolgreich für interoperable, hoch verteilte und plattformunabhängige Anwendungen eingesetzt.

Die Entwicklung von VR/AR-Technologien auf Basis von dienstorientierten, Web-basierten Systemarchitekturen ist jetzt möglich, weil hinreichend ausgereifte Bibliotheken wie WebGL/WebCL für 3D-Graphik im Web zur Verfügung stehen und eine performante und plugin-freie 3D-Darstellung z. B. auch im Web-Browser ermöglichen. Insbesondere für industrielle Anwendungen bieten Web-Technologien die folgenden Vorteile:

- **Verfügbarkeit**

Wenn VR/AR Anwendungen als Webanwendungen auf dem Endgerät (Smartphone, Tablet, PC) im Webbrowser ausgeführt werden, müssen im günstigsten Fall überhaupt keine weiteren Softwarekomponenten installiert werden, die häufig Inkompatibilitäten mit sich bringen.

- **Plattformunabhängigkeit**

Im Allgemeinen können Web-Technologien durch ihre weitgehende Standardisierung plattformunabhängig und mit jedem modernen Browser genutzt werden. Somit können kostenintensive, plattformspezifische Parallelentwicklung (für iOS, Android, Windows usw.) sehr häufig vermieden werden.

- **Interoperabilität**

Web-Technologien bilden aufgrund ihrer weitgehenden Standardisierung sowie des inhärenten Client-Server-Modells eine gute Basis für interoperable Systemarchitekturen,

die durchaus auch sehr heterogene Systemwelten zur Laufzeit zusammenbringen können. Einzige Randbedingung ist die Verfügbarkeit eines eingebetteten Web-Servers, die die standardisierte Kommunikation einer Komponente mit einer anderen bzw. der übergeordneten Anwendung übernimmt.

- **Skalierbarkeit und Verteilbarkeit**

Durch die Nutzung von Web- und Cloud-Technologien können rechenaufwendige Prozesse gut skalierbar auf Client-Server-Infrastrukturen verteilt werden. Dabei kann die verteilte Anwendung nicht nur auf die Leistungsfähigkeit des Endgerätes skaliert werden, Skalierungen können ebenso auf die Web-Konnektivität und die Menge gleichzeitiger Nutzer und das benötigte Datenvolumen angepasst werden.

Ein Beispiel für die industrielle Relevanz interoperabler Anwendungen ist die Anbindung einer VT-Anwendung an ein PLM-System (Produktlebenszyklusmanagement-System), welches über den Lebenszyklus hinweg alle relevanten Produktdaten wie zum Beispiel CAD-Daten, CAE-(Simulations-) Daten, Montageanleitungen, Anforderungen oder Produktionsplanungen zentral verwaltet und versioniert. Weit über reine Softwarelösungen hinaus geht es bei dem Begriff PLM aber auch darum, Methoden und Prozesse in Unternehmen zu berücksichtigen, um die Produktentwicklung und den Produktlebenszyklus zu unterstützen. Damit soll auch softwareseitig durch eine zentrale Datenhaltung im PLM-System sichergestellt werden, dass immer die aktuelle oder zuletzt freigegebene Datenversion für Planungs- und Entwicklungsprozesse herangezogen wird. Gerade für VR/AR-Anwendungen, die etwa im Anwendungsbereich „Soll-/Ist-Abgleich“ eingesetzt werden, muss die korrekte Versionierung gewährleistet sein. Mithilfe von Web-Technologien können nun vergleichsweise einfach VR/AR-Anwendungen realisiert werden, die den jeweils aktuellsten oder zuletzt freigegebenen Datenstand bei Start der Anwendung aus dem PLM-System erhalten – und während der Datenübertragung in geometrische Primitive codieren, die im Web-Browser visualisiert werden können. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist die Austauschbarkeit eines PLM-Systems durch ein anderes bzw. die wiederum vergleichsweise einfache und flexible Einbindung gleich zweier PLM-Systeme in einer kombinierten VT-Anwendung.

Neben vielen gemeinsamen Anforderungen im industriellen Bereich gibt es aber auch eine große Zahl branchenspezifischer Ausprägungen, die im Rahmen der ARVIDA-Anwendungsszenarien evaluiert wurden. Dazu wurden in ARVIDA Anwendungsgruppen identifiziert, innerhalb derer besonders viele Synergietechnologien ausgetauscht werden können: Während die Kern-Technologien maßgeblich von einem Anwendungspartner vorangetrieben werden, wird der Einsatz von Synergietechnologien in den Anwendungsszenarien forciert. Deshalb wurden in ARVIDA generische Anwendungsszenarien definiert, zu denen gemeinsame Lasten- und Pflichtenhefte geführt wurden, sodass Synergien gefördert und Doppelentwicklungen verhindert werden konnten. Zu diesen gemeinsamen Pflichtenheften wurden auch generische Evaluierungsszenarien aufgebaut. Insbesondere wurden verschiedene, zum Teil generische Entwicklungsszenarien betrachtet.



### 1.3.1 VR/AR-Anwendungen aus Sicht der Produktionsplanung in der Automobilindustrie

Die Produktionsplanung in der Automobilindustrie stellt das Bindeglied zwischen der Produktentwicklung und der Produktion in den Fertigungsstätten dar. Die Kernaufgabe der Produktionsplanung ist es sicherzustellen, dass ein neu entwickeltes Fahrzeug mit möglichst geringem Mittel- und Personaleinsatz effizient und fehlerfrei produziert werden kann. Die einzelnen Produktionsprozesse werden in einem iterativen Prozess optimiert, wobei insbesondere in der digitalen Entwicklungsphase verschiedene VR/AR-Anwendungen genutzt werden.

- **Baubarkeitsanalyse**

Im Rahmen der Baubarkeitsanalyse muss sichergestellt werden, dass die zu verbauenden Teile oder Baugruppen in einer durch die Produktionsplanung festgelegten Reihenfolge kollisionsfrei montiert werden können. Oft werden diese von einem Zeitplan ausgehend auch in eine zeitliche Reihenfolge gesetzt.

In der digitalen Entwicklungsphase stehen hier ausschließlich digitale Modelle zur Verfügung, im weiteren Entwicklungsverlauf stehen zum Teil Prototypen zur Verfügung, die aber auf der Basis eines älteren Entwicklungsstandes realisiert wurden und auch nicht alle mögliche Varianten abbilden.

- **Prozess- und Ergonomieanalyse**

Die Nutzung von Virtuellen Technologien zur Analyse des Prozesses und von Ergonomie ist wegen der hohen Stückzahlen ein typisches Thema für die Fahrzeugmontage. Die Gesamtbetrachtung des Montageprozesses wird genutzt, um den Gesamtablauf zu analysieren und um effiziente Prozesse sicher zu stellen. Die Ergonomieanalysen werden durchgeführt, um eine minimale Arbeitsbelastung des Werkers in der Montage zu garantieren. Sie werden aber auch eingesetzt, um die wiederkehrenden Arbeitsschritte im Wartungs- und Instandhaltungsprozess ergonomisch abzusichern.

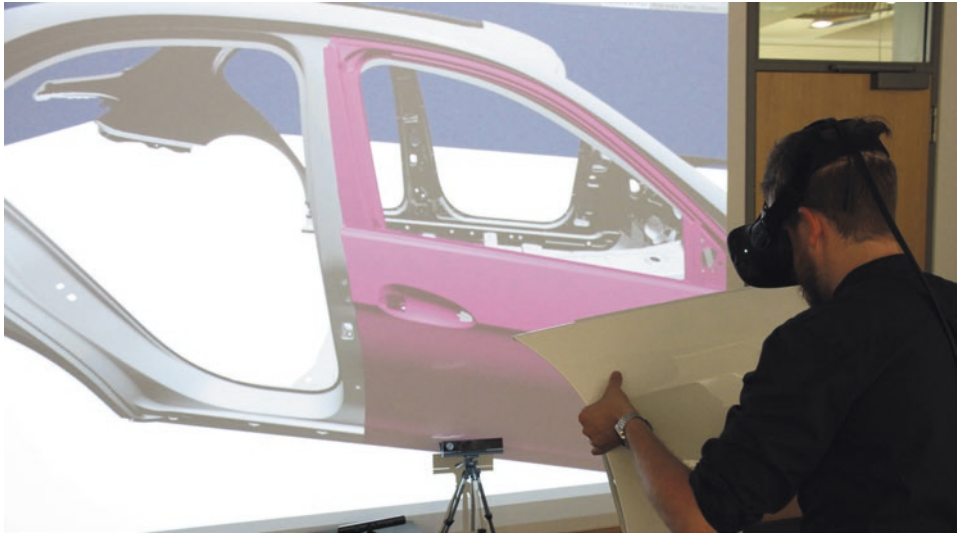
Ausgangsdaten für diese Analysen sind die Konstruktionsdaten des Fahrzeuges, die im PDM-System festgehalten werden. Zur Analyse von Baubarkeit, Prozess und Ergonomie sollen Montageprozesse durch VR/AR Technologien simuliert werden (siehe [Abb. 1.2](#)).

Diese Simulationen zeichnen sich durch eine hohe Komplexität aus, sodass sie von keinem einzelnen Technologieanbieter komplett umgesetzt werden können; unter anderem müssen die folgenden Hardware- und Softwaretechnologien integriert werden:

- **Erfassung der Bewegungen des Menschen in unterschiedlichen Qualitäten**

Hier muss zwischen Prozess- und Ergonomieanalyse sowie Baubarkeitsanalyse differenziert werden. Die Prozess- und Ergonomieanalyse erfordert eine anatomische korrekte, sehr genaue Erfassung der Bewegungsabläufe auch in eingeschränkten Räumen, die auf ein biomechanisches Simulationsmodell des Menschen übertragen werden kann. Für die Baubarkeitsanalyse sind die Genauigkeitsanforderungen geringer, hier





**Abb. 1.2** Simulation von Einbauprozeduren zur Baubarkeitsanalyse mit Hilfe von Virtuellen Technologien

muss nur registriert werden, welche Zugangsrichtung für einen Montageprozess gewählt wird und wie sich der Werker zum Fahrzeugteil ausrichtet.

Zum Zeitpunkt der Analyse liegen allerdings häufig schon reale Bauteile und Prototypen vor, die verwendet werden können. Daher muss die Erfassung des Werkers auch dann umgesetzt werden können, wenn große Teile des Arbeitsbereiches durch reale Fahrzeugteile verdeckt bzw. verbaut sind.

- **Erfassung der Bauteile**

Diese Analysen sind ein exemplarisches Anwendungsszenario für AR, weil Bauteile zum Teil real vorhanden sind, andere Bauteile liegen nur digital vor. Neben den Bewegungen des Werkers müssen deshalb auch Bauteile erfasst werden. Dabei kann nicht jedes Bauteil mit Markern versehen werden, vielmehr sind Computer-Vision-basierte Trackingverfahren erforderlich, die eine Brücke zwischen den digitalen Bauteilen und zu trackenden realen Bauteilen schlagen können. Die Referenzdaten für das Bauteiltracking müssen direkt aus den digitalen Modelldaten abgeleitet werden. Wegen möglicher Verbauung oder Einschränkung des Arbeitsraumes durch reale Prototypen und den Werker selbst müssen aber auch hier Kamera-Arrays eingesetzt werden, die das Bauteil aus verschiedenen Raumrichtungen erfassen können und Verdeckungen kompensieren können.

- **Datenintegration**

Prozess- und Ergonomiebetrachtung und Baubarkeitsanalysen basieren auf Konstruktionsdaten, die einer hohen Vertraulichkeitsstufe unterliegen. Die bedeutet, die Daten für das Rendering dürfen die PLM/PDM-Serversysteme nicht verlassen. Alle Renderings müssen serverseitig durchgeführt und als Videostrom auf einen Client übertragen werden.

Die hier dargestellten Bereiche stellen nur Teilaspekte der relevanten Technologien dar, aber auch damit wird klar, dass diese hoch komplexen Aufgaben durch einen einzelnen Technologieanbieter nicht gelöst werden können. Durch die ARVIDA-Referenzarchitektur konnte eine Lösung geschaffen werden, um verschiedene, durchaus unabhängige Komponenten flexibel zu integrieren und einfacher austauschbar zu machen. Damit wird über die ARVIDA-Referenzarchitektur eine wesentliche Grundlage für die nachhaltige Nutzung von Virtuellen Technologien geschaffen.

### **1.3.2 Virtuelle Technologien im Schiffbau**

Im Schiffbau werden im Gegensatz zur Automobilindustrie die Produkte nicht in großen Serien sondern in kleinen Losgrößen oder gar als Unikate gefertigt. Außerdem liegt ein hoher Termindruck vor. Das führt dazu, dass Konstruktions- und Fertigungsprozesse parallel durchgeführt werden müssen (Concurrent Engineering). Diese Arbeitsweise bedingt zum einen viele Änderungen auf Werksebene – auch durch die Gegebenheiten vor Ort, beispielsweise hohe Fertigungstoleranzen – zum anderen wird ein permanenter Abgleich zwischen real gefertigten Bauteilen und digitalen Modellen benötigt, weil mögliche Diskrepanzen in einer Umkonstruktion oder Neuanfertigung von Bauteilen resultieren können und damit hohe Folgekosten und Verzugszeiten verursachen. In diesem Zusammenhang ist deshalb der fortwährende Abgleich des Fertigungsumfeldes relevant. Für diesen Abgleich spielen neben manuellen Methoden auch die Umfelderkennung durch 3D-Scanningtechnologien eine entscheidende Rolle, wobei in manchen Fällen stationäre Scanningsysteme eingesetzt werden können. In anderen Fällen werden wegen der engen Bauräume und Hinterschnidungen mobile Scansysteme eingesetzt. Da Planungs- und Fertigungsprozesse eng verzahnt sind, müssen die VT hier den gesamten Prozess von der Konstruktion, über die Ressourcenplanung bis hin zur Validierung der Fertigungsgenauigkeit unterstützen. Im Rahmen des ARVIDA-Prozesses wurde deshalb die gesamte Planungskette analysiert. Diese manifestiert sich in den folgenden Schritten:

- **3D-Bauplanung**

Heterogene Datenquellen müssen für die Benutzung der VT integriert und zusammengefasst werden. In diesem Zusammenhang wurde auch eine REST-basierte Echtzeitschnittstelle zum Konstruktions-/PLM-System entwickelt. Exemplarisch wurde dafür die Teamcenter-Umgebung des Projektpartners Siemens eingesetzt. Über die REST-Schnittstellen des PLM-Systems wurde ein Lifelink etabliert, der sowohl 3D-Modelle als auch PMI-Daten in Echtzeit in die VT überträgt. Über reine 3D-Daten hinaus integrieren die VT aber auch nicht geometriebasierte Planungsdaten wie z. B. zeitliche Vorgaben (Lieferzeiten, Meilensteine etc.) oder buchhalterische Rahmenbedingungen (z. B. SAP-Werkzeuge), sodass die Virtuellen Technologien zu Etablierung einer 3D-Lebenslaufakte integriert werden, die einen Überblick über den gesamten Planungsprozess verschafft.

- **3D-Bauanleitung**

Die 3D-Bauanleitung überführt die reinen Konstruktionsdaten in prozedurale Bau-reihenfolgen, die zum einen von den Ingenieuren zur Spezifikation der Bauprozesse genutzt werden können, die zum anderen aber auch in Assistenzsystemen für den Werker eingesetzt werden können. Hierfür spielen sowohl VR-Technologien (die Bauschritte können im 3D-Editor visualisiert werden) als auch AR-Technologien (die Bauschritte werden ins Kamerabild überlagert, mit dem die Baugruppe aufgezeichnet wird) eine Rolle.

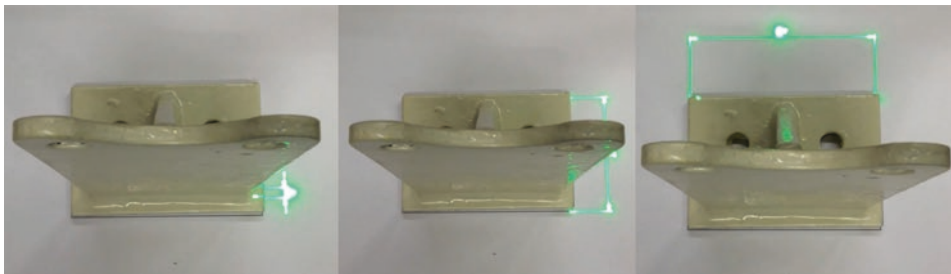
- **Intelligentes Schema**

Wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Etablierung von VT ist, dass die potentiellen Nutzer mit den vertrauten Prozessen und Werkzeugen abgeholt werden und dass die etablierten Interaktionsparadigmen auf die VT übertragen werden. Ein solches Werkzeug ist das Fließschema, das die Verknüpfung der Phasen (z. B. Inbetriebnahme, Abnahme beim Hersteller, Abnahme auf See) im Lebenslaufzyklus beschreibt. Dieses etablierte Fließschema wird durch die Virtuellen Technologien aufgegriffen und mit der 3D-Lebenslaufakte verknüpft.

- **Zeichnungslose Fertigung**

Fertigungsinformationen werden nicht in den 3D-Modellen festgehalten aber in PMI (Product and Manufacturing Information). Diese PMIs werden klassischerweise ausgedruckt und dem Werker als Skizze zur Verfügung gestellt. Dieser Medienbruch ist deshalb fehleranfällig. Deswegen sollen auch hier die PMI direkt aus dem PLM/PDM-System eingelesen und via AR auf die zu fertigenden Bauteile projiziert werden. Dazu werden Vektorgraphiken direkt via Laserprojektion den zu fertigenden Bauteilen überlagert ([Abb. 1.3](#)).

Die Komplexität und Heterogenität der Daten, die zur Konstruktion, Planung und Fertigung im Schiffbau eingesetzt werden, ist sehr hoch. Durch einen immensen Aufwand für die Datenintegration steigen die Kosten für die Anwendung der VT sehr stark, sodass sie letztendlich nicht mehr wirtschaftlich sind. Deswegen wurden mit der ARVIDA-Referenzarchitektur Konzepte für die Datenintegration entwickelt, die es ermöglichen,



**Abb. 1.3** Augmented Reality Projektion der PMI-Daten

Technologiekomponenten ohne diesen erheblichen Aufwand auszutauschen. Deshalb sind die erzielten Ergebnisse für die Anwendung von VT im Schiffbau besonders relevant.

### **1.3.3 Virtuelle Techniken für die Werkerassistenz in der Automobilindustrie**

Einsatzmöglichkeiten von VT für die Unterstützung von Werkern sind dort gegeben, wo durchzuführende Arbeiten variantenreich oder komplex sind, viele Informationen zusammen fließen oder Arbeiten dokumentiert werden müssen, weil sie beispielsweise sicherheitsrelevant sind. Wie oben bereits dargestellt, sind diese Kriterien insbesondere bei kleinen Losgrößen gegeben, in der Automobilindustrie etwa im Versuchs- und Prototypenbau. In dieser Phase des Produktentstehungsprozesses existieren noch keine Serienwerkzeuge und manuelle Arbeitsschritte überwiegen. Die genannten Kriterien sind aber auch bei Kleinserienfertigungen oder der Fertigung der äußerst variantenreichen Nutzfahrzeuge erfüllt. Und selbst in der Großserienfertigung von Personenkraftwagen steigt der Bedarf an innovativen Werkerassistenzlösungen aufgrund des Kundenwunsches nach immer größerer Individualisierung der Fahrzeuge stark an. Ansätze der Industrie 4.0 machen die Individualisierungswünsche der Kunden system- und produktionstechnisch wirtschaftlich realisierbar. Für den Werker wesentlich effektiver beherrschbar werden Variantenreichtum und Komplexität durch Unterstützung durch VT.

Im Projekt ARVIDA wurden zwei automobile Szenarien ausgewählt, um VT für die Werkerassistenz einerseits technologisch weiter zu entwickeln. Andererseits sollten diese Anwendungen über die Dienste-Abstraktion von Informationen und Funktionalitäten auf die nächste Stufe gehoben und der Ansatz einer Referenzarchitektur unter anwendungsnahen Gesichtspunkten evaluiert werden. Die ausgewählten automobilen Szenarien sind:

- **Mobile projektions-basierte Assistenzsysteme**

In diesem Anwendungsszenario werden mobile Projektionssysteme genutzt, um Informationen und Handlungsanweisungen für den Werker direkt auf das Bauteil im Arbeitsbereich zu projizieren. Informationen können beispielsweise die Position oder Bezeichnung von Bolzenpositionen und Schweißverbindungen auf Blechteilen sein. Als Handlungsanweisung kann beispielsweise die Reihenfolge von Schraubverbindungen an einem Motor angezeigt werden. Auch komplexere Geometrien können dargestellt werden, etwa die Lage und die Form von Bauteilen und Strukturen, die durch die Oberfläche des Bauteils eigentlich verborgen sind, wie beispielsweise die Rippenstruktur von Tiefziehwerkzeugen oder die innenliegenden Bauteile einer Fahrzeugtür. Dadurch entsteht eine Art virtueller Röntgenblick.

Der Werker kann das Projektionssystem verschieben und auf neue Bauteile und Arbeitsbereiche ausrichten. Dabei wird die Darstellung der projizierten Informationen lagerichtig angepasst. Möglich machen dies Kameras, die in das Projektionssystem

integriert sind und das jeweilige Bauteil tracken. Im Szenario wurden die folgenden Dienste entwickelt und über die ARVIDA Referenzarchitektur nutzbar gemacht:

- Tracking-Dienste: Hierüber wird die Position und Orientierung des Bauteils relativ zum Projektionssystem bestimmt und verfügbar gemacht. Für eine hohe Genauigkeit werden Markierungen getrackt, die auf dem Bauteil angebracht werden. Es wurden dabei Verfahren entwickelt, die eine flexible Anbringung der Markierungen erlauben. Bei geringeren Genauigkeitsansprüchen kann das Bauteil auch direkt getrackt oder sogar gescannt werden.
- Daten-Dienste: Hierüber werden die darzustellenden Informationen und Handlungsanweisungen zusammengestellt und verfügbar gemacht.
- Rendering-Dienste: Hierüber erfolgt die verzerrungsfreie Darstellung der virtuellen Inhalte auf dem Bauteil.
- Interaktions-Dienst: Hierüber erfolgt die Interaktion mit dem System wie beispielsweise die Auswahl der darzustellenden Informationen.

#### • Instandhaltung und Training

In diesem Anwendungsszenario werden Datenbrillen genutzt, um Informationen und Handlungsanweisungen in das Sichtfeld des Werkers einzublenden. Das Szenario fokussiert dabei auf das Training von Werkern in sogenannten Profiräumen. Hier werden komplexe Montagearbeitsplätze für das Training nachgestellt und vom Werker unter Anleitung eines Trainers trainiert. Der Trainer nutzt ein Tablet zur Erzeugung der Trainingsinhalte, indem er Arbeitsschritte fotografiert und um Informationen und Handlungsanweisungen anreichert. Im Training wird das Tablet mit einer Datenbrille gekoppelt, die vom Werker getragen wird. Sowohl der Trainer als auch der Werker können durch die Arbeitsschritte navigieren, wobei der Trainer immer sieht, welche Informationen dem Werker in der Datenbrille gerade angezeigt werden. Vorteil der Datenbrille ist, dass der Werker die Informationen immer im Sichtfeld hat und den Arbeitsbereich nicht verlassen muss, um Informationen zum nächsten Arbeitsschritt zu erhalten.

Für das Trainings-Szenario wurden die folgenden Dienste entwickelt und über die ARVIDA Referenzarchitektur nutzbar gemacht:

- Tracking-Dienste: Hierüber wird die Position und Orientierung der Datenbrille relativ zum Fahrzeug bestimmt und verfügbar gemacht.
- OST-Kalibrierungs-Dienste: Hierüber werden die Abbildungseigenschaften der zum Einsatz kommenden Datenbrille sowie die Position der Augen des Werkers relativ zu den Displays der Datenbrille bestimmt und verfügbar gemacht.
- Daten-Dienste: Hierüber werden die darzustellenden Informationen und Handlungsanweisungen zusammengestellt und verfügbar gemacht.
- Workflow-Dienste: Hierüber wird die Abfolge der Arbeitsschritte definiert und verfügbar gemacht.
- Rendering-Dienste: Hierüber erfolgt die Darstellung der virtuellen Inhalte in der Datenbrille.

### 1.3.4 Virtuelle Techniken in der Produktentwicklung der Automobilindustrie

Virtuelle Techniken haben ihren Einzug in die Produktentwicklung der Automobilindustrie Mitte der 1990er Jahren gehalten. Erste Anwendungen waren die Visualisierung von Fahrzeugexterieur und Fahrzeuginterieur in den Abteilungen Design und Strak, in denen die Anmutung des Fahrzeugs und die vor Kunde sichtbaren hochqualitativen Flächen entstehen. Die Visualisierung erfolgt auf sogenannten Powerwalls, die eine hochauflösende 1:1-Darstellung der Fahrzeuge ermöglichen, oder mit Virtual-Reality-Brillen, in denen sich insbesondere Fahrzeuginnenräume gut visualisieren lassen.

Während in CAD- und Konstruktionssysteme meist nur ein Bauteil oder nur der angrenzende Bauraum im Fokus stehen und abbildbar sind, bietet Virtual Reality die Möglichkeit, Bauteile im Kontext zu visualisieren und ganze Fahrzeuge darzustellen. Mit Virtual Reality können Fahrzeuge so erlebt werden, wie sie sich später dem Kunden präsentieren. Hierzu ist eine möglichst realistische Darstellung erforderlich, die mit aktueller Shader-Technologie sowie mit Ray Tracing auf High-Performance-Clustern erzeugt wird. Dabei kommen vermessene Materialien und Lichtquellen zum Einsatz, und es wird die Ausbreitung von Licht in der virtuellen Szene so exakt simuliert, dass hochqualitative, von der Realität kaum noch unterscheidbare Ansichten der virtuellen Fahrzeugmodelle erzeugt werden.

Visualisierungen von Fahrzeugmodellen sind als Meilensteine fest in die Produktentwicklungsprozesse der Automobilindustrie integriert. Sie dienen der Entscheidungsfindung und werden verwendet, um die Qualität von Konstruktionsständen abzusichern. Nach der Devise „erst schauen, dann bauen“ sind sie den wenigen im Entwicklungsprozess noch verbliebenen physischen Prototypen vorgeschaltet oder ersetzen diese bereits vollständig. Hierzu ist es erforderlich, dass neben der reinen Visualisierung weitere Eigenschaften des Fahrzeuges abgeprüft werden können. Beispiele sind:

- **Funktionale Absicherung**

Bei der funktionalen Absicherung werden Erreichbarkeit, Bedienung und Funktion von Bauteilen etwa im Fahrzeuginnenraum evaluiert. Wie gestaltet sich beispielsweise die Erreichbarkeit von Innenspiegel und Handschuhfachklappe vom Fahrerplatz aus? Wie lassen sich der Lichtdrehschalter und die Regler der Klimaanlage bedienen? Passen Gegenstände wie Kaffeebecher, Flaschen, Handys und Brillen in die dafür vorgesehenen Ablagefächer? Für die Darstellung werden CAVEs (Mehrseiten-Projektionsanlagen) oder Virtual Reality-Brillen verwendet. Der Kopf, die Hände und die Finger des Benutzers sind getrackt. Bauteile können so in der Virtual Reality-Simulation natürlich gegriffen werden. Im Hintergrund laufende Physiksimulationen und funktionale Modelle sorgen für ein realitätsgetreues Verhalten der virtuellen Gegenstände und Bauteile.

- **Fahrsimulation**

Bei der Fahrsimulation wird das Fahrzeug in der Bewegung evaluiert. Dabei werden Assistenzsysteme erprobt und das Fahrverhalten evaluiert und abgestimmt. Für die

Simulation werden beispielsweise Sitzkisten verwendet, die auf Bewegungsplattformen montiert sind. Aktuatoren geben Lenkmomente und Pedalkräfte wieder. Die Darstellung erfolgt auf Projektionsleinwänden, die die Sitzkiste umgeben, oder mittels Virtual Reality Brillen. Im Hintergrund laufen Simulationen der Assistenzsysteme sowie des Fahrverhaltens des jeweiligen Fahrzeuges. Auch Hardware-in-the-Loop-Systeme kommen hier zum Einsatz.

- **Strömungs- und Crashvisualisierungen**

Bei der Strömungsvisualisierung werden Ergebnisse der Strömungsberechnungen im Fahrzeugkontext dargestellt und in multidisziplinären Expertengruppen diskutiert. Sie ersetzen zunehmend Versuche im Windkanal. Auch die Ergebnisse der Crashberechnung werden inzwischen nicht nur in Falschfarben dargestellt, sondern in fotorealistischer Qualität visualisiert. Dabei können interaktiv beliebige Sichtwinkel eingenommen werden. Im Gegensatz zu realen Crashversuchen sind hierbei auch öffnende Schnitte und Sichten in das Fahrzeug während des Crashes möglich. Die Darstellung erfolgt auf Powerwalls oder mit Virtual Reality-Brillen. Einige Ansätze nutzen auch Augmented Reality, um einen Abgleich der Simulationsergebnisse mit realen Versuchen zu ermöglichen und die Ergebnisse an physischen Fahrzeugen darzustellen.

- **Virtuelle Gesamtfahrzeugabnahme**

Bei der virtuellen Gesamtfahrzeugabnahme werden kundenrelevante Punkte aus dem Eigenschaftskatalog des Fahrzeuges evaluiert. Wie gestaltet sich beispielsweise die Alltagstauglichkeit des Fahrzeuges? Lassen sich Kisten und Gepäckstücke gut im Kofferraum verstauen? Sind einfache Wartungs- und Reparaturarbeiten gut durchführbar? Wie gestalten sich Kopf- und Beinfreiheit? Wie sind das Raumgefühl und die Sichten auf die Umgebung des Fahrzeuges? Da die Gesamtfahrzeugabnahme im Prinzip die Qualitätsabsicherung der Entwicklung darstellt, kommen hier alle der oben genannten Darstellungs- und Simulationsansätze zum Einsatz.

Eine Gemeinsamkeit aller hier vorgestellten Anwendungen ist, dass eine Vielzahl von Datenquellen, Komponenten, Modulen und Funktionalitäten miteinander verknüpft werden müssen. In der Vergangenheit wurden diese Verknüpfungen hart codiert, in anderen Systemen vorhandene Funktionalitäten wurden in VT-Anwendungen nachimplementiert und proprietäre Schnittstellen wurden integriert. Mit der ARVIDA-Referenzarchitektur wird nun erstmals die Möglichkeit geschaffen, Datenquellen, Komponenten, Module und Funktionalitäten über eine standardisierte REST-Schnittstelle als Dienste anzubinden. Dies führt zu einer höheren Flexibilität und zu einem geringeren Implementierungs- und Wartungsaufwand.

Im Projekt ARVIDA wurde das Dienstekonzept für das Anwendungsszenario der Interaktiven Projektionssitzkiste erstmalig prototypisch realisiert und evaluiert. Das Szenario ist im Design und in der Konzeptentwicklung angesiedelt. Die Interaktive Projektionssitzkiste soll den Designer beim Schritt von 2D-Skizzen und Zeichnungen hin zu 3D-Geometrien und Modellen unterstützen, indem sie virtuelle Inhalte auf einem abstrahierten, physischen Grundmodell visualisiert. Der Konzeptentwickler soll die Möglichkeit erhalten,



Bauteile neu anzuordnen und Erreichbarkeiten sowie Funktionalitäten wie etwa die Bedienung eines Radionavigationssystems zu evaluieren. In der vollen Ausbaustufe soll dies in einer Fahrsimulation möglich sein, die um die Interaktive Projektionssitzkiste herum dargestellt wird. Zur Realisierung des Anwendungsszenarios ist eine Vielzahl von Diensten erforderlich, die über die ARVIDA Referenzarchitektur verfügbar gemacht werden. Dazu gehören beispielsweise:

- Kalibrier- und Registrier-Dienste: Hierüber werden die Abbildungseigenschaften der zum Einsatz kommenden Projektoren sowie deren Position im Raum ermittelt.
- Rendering-, Warping- und Blending-Dienste: Hierüber erfolgt die verzerrungsfreie und homogene Darstellung der virtuellen Inhalte auf der abstrakten Projektionsoberfläche.
- Tracking- und Gesten-Dienste: Hierüber werden die Kopf-, Hand- und Fingerpositionen des Betrachters ermittelt und Gesten erkannt, die für eine perspektivisch korrekte Darstellung sowie die Interaktion mit den virtuellen Inhalten notwendig sind.
- Fahrzeugzustands- und Komponenten-Dienste: Hierüber werden Fahrzeugzustände wie beispielsweise Geschwindigkeit, Beschleunigung, Position und Orientierung, aber auch Stellung von Schaltern, Hebel, Lenkrad und Pedalerie etc. erkannt und übermittelt.

---

## Literatur

- [1] Friedrich W (Hrsg) (2004) ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis, Erlangen
- [2] MediaWiki (2015) <https://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki>. Zugegriffen: 07. Aug. 2016
- [3] Reuse B, Vollmar R (Hrsg) (2007) Informatikforschung in Deutschland. Springer, Heidelberg
- [4] Schreiber W, Zimmermann P (Hrsg) (2011) Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld – Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer, Heidelberg

Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken  
Das ARVIDA-Projekt – Dienste-basierte  
Software-Architektur und Anwendungsszenarien für die  
Industrie

Schreiber, W.; Zürl, K.; Zimmermann, P. (Hrsg.)

2017, IX, 462 S. 197 Abb., 168 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-662-52955-3