

# Produktivitätssteigerung durch Virtual Reality - basierte Dienstleistungen

*Schenk, M.; Blümel, E.; Straßburger, S.; Hintze, A.; Sturek, R.*

## 1 Einleitung

Der Trend in Richtung immer kürzerer Produktentwicklungszyklen und kürzeren Produktionsanlaufphasen und Inbetriebnahmezeiten von komplexen Maschinen und Anlagen erfordert den Einsatz von innovativen Lösungen.

Der Einsatz und die Entwicklung von modernen IT-Verfahren und Werkzeugen ist ein Ansatz zur Problemlösung. Auf der einen Seite werden unter den Schlagworten "Digitale Fabrik" und "Virtuelle Produktentwicklung" verschiedene kommerzielle Softwarelösungen angeboten, die den Erwartungen der industriellen Endanwender zu einem unterschiedlichen Erfüllungsgrad entsprechen. Im Bereich der digitalen Fabrik sind dies z.B. digitale Planungs- und Simulationswerkzeuge für die Gestaltung der späteren Produktion. Im Bereich der virtuellen Produktentwicklung sind kommerzielle 3D-CAD Systeme die Standardwerkzeuge, ergänzt durch Werkzeuge zur Simulation von Produkteigenschaften (z.B. FEM-Simulationen).

Auf der anderen Seite stehen modernste Technologien der Virtuellen Realität zur Verfügung, die einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung des Produktlebenszyklus haben können. In der Praxis werden diese Technologien jedoch noch nicht in Ihrer vollen Leistungsfähigkeit eingesetzt und sind nicht durchgängig in kommerziellen Werkzeugen integriert. Sie werden lediglich bei den technologischen Vorreitern, wie z.B. der Automobilindustrie, in gewissen Umfang eingesetzt, z.B. für Design Reviews.

Dieser Artikel versucht daher, das Potential von Virtueller Realität (VR) als einer Schlüsseltechnologie für die Verkürzung von Entwicklungszeiten und zur Steigerung der Produktivität aufzuzeigen. Die aufgezeigten Vorteile von VR liegen sowohl in den frühen Phasen der Produktentwicklung (kürzere Time-To-Market, bessere Beeinflussbarkeit der späteren Produktion) als auch in späteren Phasen (z.B. schnellerer Anlauf der Produktion und bessere Qualifikation der Mitarbeiter durch VR-basiertes Training).

Erst wenn es gelingt, die Schlüsseltechnologie "Virtuelle Realität" als durchgängig eingesetztes Werkzeug im gesamten Produktlebenszyklus zu etablieren, kann die Vision von virtueller Produktentwicklung und virtueller Prozessgestaltung Realität werden.

Das in Magdeburg entstehende "Virtual Development and Training Centre" des Fraunhofer IFF hat die Zielstellung, diese Technologien anwendernah weiterzuentwickeln, marktfähig zu machen und durch ein innovatives Dienstleistungsangebot einen Know-How-Transfer an interessierte Unternehmen bereitzustellen.

Der weitere Beitrag gliedert sich wie folgt: Abschnitt 2 stellt das am Fraunhofer IFF entwickelte visuell-interaktive Visualisierungssystem (die VDT-Plattform) und die ihr zugrunde liegende Philosophie vor. Abschnitt 3 erläutert Einsatzgebiete der Technologie VR am Beispiel der VDT-Plattform anhand der verschiedenen Schritte der Prozesskette bzw. des Produktlebenszyklus. In Abschnitt 4 werden konkrete VR-basierte Dienstleistungsangebote und Beispiele aus abgeschlossenen Projekten dargestellt.

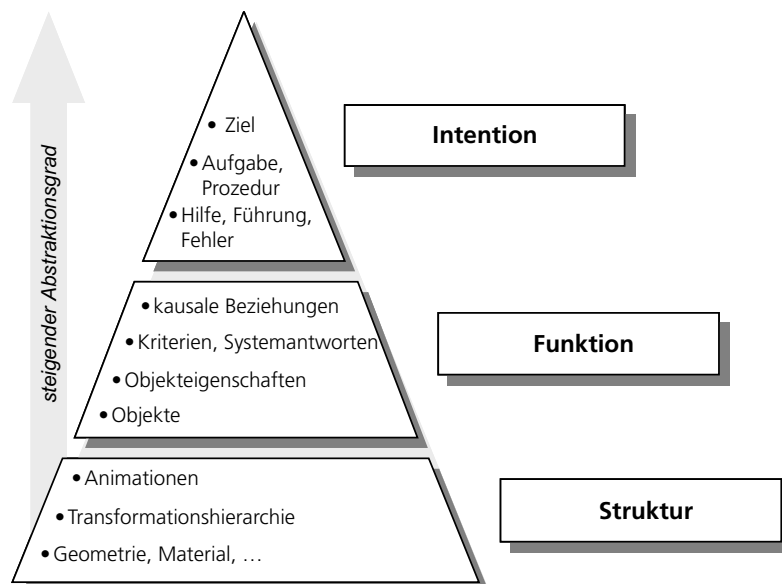
## **2 Interaktives Visualisierungssystem "VDT-Plattform"**

Dieser Abschnitt stellt das am Fraunhofer IFF entwickelte interaktive Visualisierungssystem vor. Es handelt sich hierbei um die sog. "Virtual Development and Training Platform", kurz VDT-Plattform. Zielstellung bei der Entwicklung der VDT-Plattform war die Schaffung eines modular erweiterbaren Systems, das vom Ansatz her in der Lage ist, den Einsatz von VR in allen Phasen eines Produktlebenszyklus zu unterstützen.

Die VDT-Plattform erlaubt eine realitätsnahe Interaktion mit virtuellen 3D-Modellen, z.B. von komplexen Maschinen oder Anlagen. Mit der VDT-Plattform ist es möglich, das Verhalten der modellierten Maschinen bzw. Anlagen darzustellen. Es kann, neben der Abbildung der normalen Funktionalitäten, die Reaktion auf individuellen Manipulationen, also z.B. richtige oder falsche Eingriffe bei Montage, Demontage oder Reparatur, hinterlegt werden.

### **Szenario-Konzept als zentrales Element**

Zentrales Element der Philosophie der VDT-Plattform ist das Szenariokonzept [Hin99], [Hin00]. Es ist die Basis für das Modellierungskonzept und stellt eine dedizierte Sprache zur Beschreibung von Abläufen, kausalen Zusammenhängen und Prozeduren bereit. Ein Szenario umfasst den anwenderspezifischen Inhalt einer VR-Szene und wird in einem speziellen Dateiformat abgespeichert.



**Bild 1:** Verschiedene Schichten eines Szenarios

Die Sicht auf ein Szenario lässt sich in verschiedene logische Schichten einteilen (Bild 1). Auf der untersten (strukturellen) Ebene werden Geometriedaten, Transformationen und Animationen definiert. Auf der mittleren (funktionalen) Ebene werden Objekte, deren Eigenschaften und Beziehungen zueinander definiert. Auf der obersten Ebene wird der Szenarioablauf und -inhalt gestaltet.

### **Die VDT-Plattform aus Nutzersicht**

Nutzer des Systems können unterschieden werden in Autoren und Endanwender. Der Autor erstellt das virtuelle Modell bzw. Szenario der konkreten Maschine oder Anlage. Hierfür verwendet er das sog. Autorensystem (Bild 2).

Der Endanwender setzt die VDT-Plattform für die ihn interessierenden Einsatzzwecke ein (z.B. zum virtuellen Funktionstest oder zum Training der Montage einer Druckmaschine). Dazu benötigt er eine konkrete Szenario-Datei und den Szenario-Player.

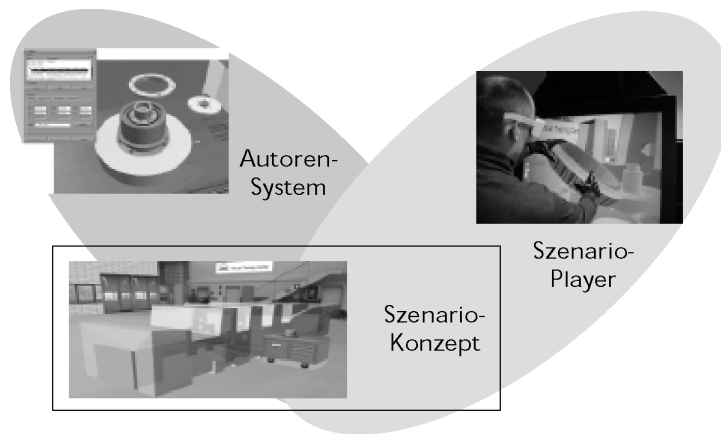


Bild 2: Die VDT-Plattform aus Sicht des Nutzers

Die VDT-Plattform aus Entwicklersicht

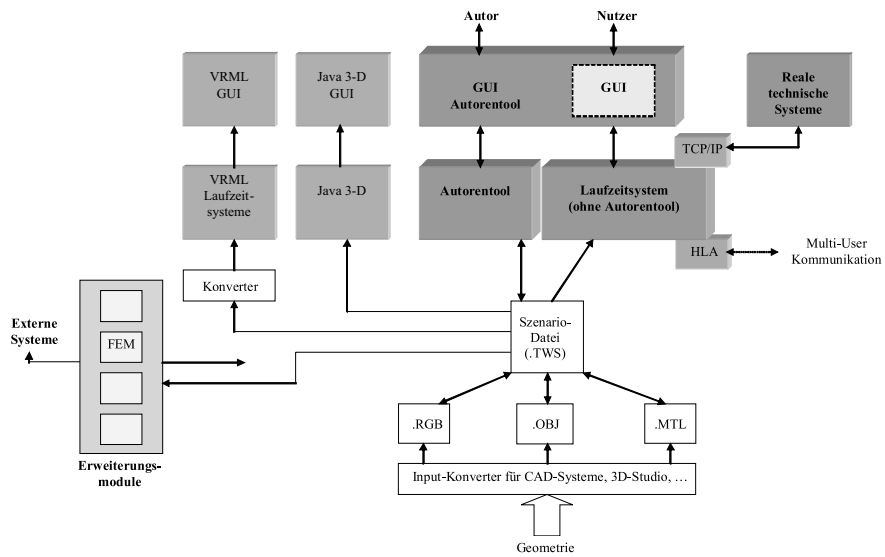


Bild 3: Überblick über die Architektur der VDT-Plattform aus Entwicklersicht

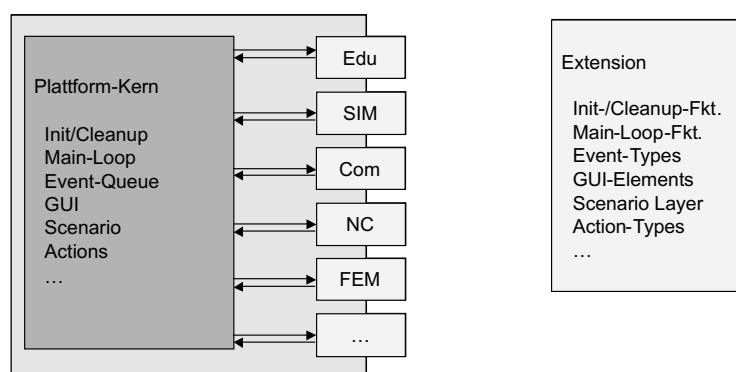
Die Szenariodatei stellt auch aus Entwicklersicht die Basis der Systemarchitektur dar (Bild 3), auf der das Autorentool und das Laufzeitsystem (d.h. der Szenario-Player) aufsetzen. Neben dem standardmäßig verwendeten Szenario-Player der VDT-Plattform können (teilweise über bereitgestellte Konverter) auch Visualisierungen in anderen Laufzeitsystemen (z.B. Standard VRML-Player) erzeugt werden.

Die auf der VDT-Plattform erstellten Anwendungen sind somit flexibel einsetzbar und auf einem gewöhnlichen PC mit Tastatur und Maus als Eingabegeräte lauffähig. Das System kann bei gleicher Funktionalität auch mit aufwendigerer Peripherie-Hardware eingesetzt werden: mit Datenhelm und Datenhandschuhen, mit Stereo-Brille vor einer Großprojektion, in einer CAVE usw. Die derzeitige Implementierung des Laufzeitsystems setzt das Linux-Betriebssystem voraus, eine Version für Windows ist in Vorbereitung.

### **Modulare Erweiterbarkeit**

Wie bereits erwähnt, liegt der VDT-Plattform ein modulares Konzept zugrunde, bei dem großer Wert auf Erweiterbarkeit und ein klares Schnittstellenkonzept gelegt wurde. Beide Faktoren sind die Voraussetzung für die Möglichkeit des durchgängigen VR-Einsatzes im gesamten Lebenszyklus eines Produktes.

Zielstellung der VDT-Plattform ist nicht der Ersatz funktionierender IT-Systeme. So werden auch in Zukunft kommerzielle 3D-CAD-Systeme für die Konstruktion verwendet werden. Um sinnvoll und effizient Mehrwerte durch die VR-Technologie bereitstellen zu können, muss sich das VR-System (in unserem Falle die VDT-Plattform) über existierende Standardschnittstellen anbinden lassen. Im Falle von CAD ist dies z.B. über den VRML-Standard möglich.

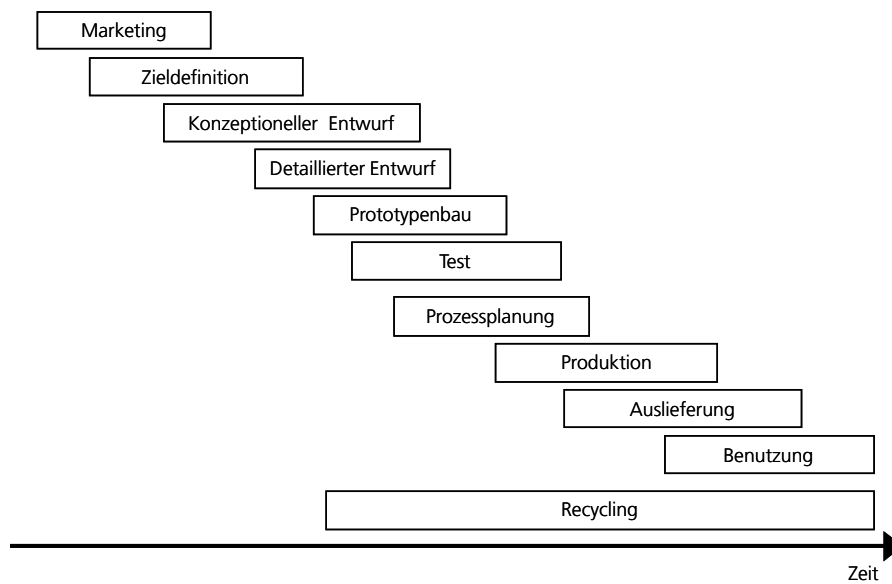


**Bild 4:** FEM-Modul als Extension der VDT-Plattform

In anderen Bereichen (z.B. der Simulation von Produkteigenschaften durch FEM) ermöglicht die VDT-Plattform die Anbindung von externen Simulationssystemen und stellt dann die Simulationsergebnisse interaktiv dar. Der funktionale Aufbau einer Erweiterungskomponente wie FEM entspricht im Kern dem des Plattformkerns und kommuniziert mit ihm über definierte Programmierschnittstellen (Bild 4).

### 3 Einsatzgebiete entlang der Prozesskette

Die generelle Ansatz des Concurrent Engineering basiert auf der Erkenntnis, dass die Kostenbeeinflussbarkeit für ein neues Produkt während der frühen Phasen der Produktentwicklung am größten ist.



**Bild 5:** Prozesskette im Concurrent Engineering

Concurrent Engineering versucht daher, durch eine Parallelisierung der verschiedenen Entwicklungsphasen (z.B. Überlagerung von Entwurf- und Testphasen mit den traditionell später liegenden Prozessplanungsphasen) den frühen Entwicklungsaufwand zu intensivieren und somit ein kostengünstigeres Produkt zu erzielen. Der daraus resultierende Produktlebenszyklus lässt sich aus der in Bild 5 abgebildeten Prozesskette entnehmen (siehe auch [Gro01]). Bezogen auf die einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus sind verschiedene Einsatzmöglichkeiten für die VR-Technologie denkbar, eine Auswahl ist in Tabelle 1 dargestellt und wird im folgenden näher erläutert.

**Tabelle 1:** Einsatzgebiet für VR entlang der Prozesskette

<b>Produktlebenszyklus</b>	Marketing	<b>Produktpräsentation</b> , Dokumentation
	Konzeptioneller Entwurf	<b>Design Reviews</b> , Konzept Validierung, Variantenvergleich und -auswahl
	Detaillierter Entwurf	<b>Modellierung von Bauteilen sowie Montage- und Prüfvorgängen</b>
	Prototypenbau	<b>Optimierung von Design, Form und Topologie</b>
	Test	Simulationen, <b>Post-Processing von Simulationsergebnissen</b> Funktions- und Machbarkeitstest, Toleranzen, Bauteile und Systeminteraktion, Antriebsfunktion, <b>Ergonomie</b>
	Prozessplanung	<b>Gestaltung des Fabriklayouts, Materialflussplanung, Montageplanung, Prüfplanung</b> , Design von Spann- und Fixierkonzepten, Arbeitsplanung, NC Programmierung, Intelligente Vorschubratensteuerung
	Produktion	
	Auslieferung	Logistikplanung, Vertriebsunterstützung
	Benutzung	<b>Training, Dokumentation</b> (Trouble Shooting, Benutzerhandbuch)
	Recycling/Entsorgung	Planung, Simulation und Visualisierung der Demontage

### **Marketing**

In dieser Phase kann die Virtuelle Realität einen Beitrag für die Kommunikationsverbesserung im Ideenfindungsprozess von neuen Produkten leisten. Erste Grobentwürfe (z.B. basierend auf Vorgängermodellen) können in VR visualisiert und mit Zielkunden diskutiert werden.

### **Konzeptioneller und detaillierter Entwurf**

In den Entwurfsphasen eignet sich VR als hervorragendes Werkzeug vor allem für die schnelle Durchführung von Design Reviews, zum Variantenvergleich und zur Konzeptvalidierung. Zum effizienten Einsatz von VR in diesen Phasen bedarf es hier einer guten

Schnittstelle zum eingesetzten CAD-System. Es muss möglich sein, ein VR-Modell mit möglichst geringem händischen Nacharbeitungsaufwand aus dem CAD-Modell zu generieren und in ein interaktives, funktionales Modell zu überführen. Die VDT-Plattform bietet hierfür geeignete Schnittstellen.

### **Prototypenbau**

Physische Prototypen von Produkten werden heutzutage entweder teilweise oder komplett durch virtuelle Prototypen ersetzt. In ihnen werden alle relevanten funktionalen Eigenschaften des physischen Produktes nachgebildet. Untersuchungsziele für Experimente an virtuellen Prototypen sind hierbei unter anderem:

- Bewertung von Montage-, Demontage- und Instandhaltungsabläufen,
- Abstimmung von Komponenten in komplexen Systemen,
- Optimierung von Bauteilen zur Kostenreduktion,
- Funktions- und Machbarkeitstest, Ergonomie.

Durch virtuelle Prototypen können schon im Voraus zukünftige, häufig auch unnötige, Fehler am Produkt erkannt und dementsprechend behoben werden. Dies und die Verringerung der physischen Prototypen kann zu einer großen Kostenersparnis führen.

### **Test**

Im Zusammenspiel von VR und Simulationssystemen der Produktsimulation ist es möglich, vielfältige Produkt- und Prozesseigenschaften am virtuellen Prototypen zu testen und zu optimieren. So kann die VDT-Plattform z.B. als zentrales Werkzeug zur Visualisierung und zum Post-Processing verschiedenster Simulationsergebnisse verwendet werden (Bsp. FEM-Simulation). Weiterhin ist die Verbindung von virtuellem und realen Prototypen möglich, z.B. um physische Prototypen an einer virtuellen Umgebung zu testen oder über virtuelle Bedienelemente eine reale Steuerung zu bedienen.

### **Prozessplanung und Produktion**

Im Bereich der Prozessplanung bestehen Einsatzmöglichkeiten z.B. zur Visualisierung der Abläufe und des Layouts der späteren Fabrik. Der zukünftigen Betreiber kann seine Fabrik erleben und gestalten, obwohl sie noch nicht physisch existiert. Hierfür ist die Integration von kommerziellen Werkzeugen zur Planung und Simulation notwendig. Die VDT-Plattform verfügt über solche Schnittstellen (z.B. zu eM-Plant).



Die perspektivische Zielstellung für VR in Prozessplanung und Produktion ist ihr Einsatz als Kommando- und Steuerzentrale für Fabrikentwurf und Fabrikbetrieb. Die virtuelle Welt kann als Integrationsplattform für verschiedenen Simulationsmodelle dienen (z.B. Zulieferermodelle, die in verschiedenen Werkzeugen entwickelt wurden) [Str03]. Während der Entwurfsphase der Fabrik könnten die Fertigungsabläufe somit ganzheitlich in der VR Welt visualisiert und optimiert werden. In der Betriebsphase der Fabrik könnten durch Konzepte der online Simulation eine virtuelle Fabrik parallel zur realen existieren, die die Basis für Entscheidungen (sowohl im Notfall als auch zur täglichen Arbeitsplanung) darstellt.

### **Benutzung**

Komplexe technische Produkte und Systeme ziehen einen steigenden Bedarf an Qualifizierung für Endnutzer, Bediener, Instandhaltungs- und Servicepersonal dieser Systeme nach sich. Gleichzeitig liegt ein hoher Kostendruck auf Qualifizierungsdienstleistungen. Daraus resultieren Anforderungen an innovative Qualifizierungsdienste, wie

- Schaffung von kundenspezifischen Trainings- und Schulungsprogrammen,
- Situationsbezogene Vor-Ort-Bereitstellung von Schulung und Training,
- Kosteneffiziente Anpassung von Trainingsinhalten an Kundenanforderungen.

Hier kann durch VR-basierte visuell-interaktiven Trainingsszenarien, wie sie die VDT Plattform ermöglicht, die Qualifizierung von technischem Personal durchgeführt werden.

Im VR-Modell kann die Benutzung eines komplexen Produktes (z.B. einer Werkzeugmaschine) oder deren Wartung erlernt werden. Qualifizierungsziele des "virtuellen Trainings" sind:

- Verstehen von Aufbau und Funktion bestimmter Baugruppen/Maschinenkomponenten
- Prozeduren zur In-/Ausserbetriebnahme und Wartung/Service
- Methoden zur Fehlererkennung, -diagnose und -beseitigung
- Training von aussergewöhnlichen bzw. gefährlichen Situationen.

Ein wesentliches Nutzungspotential des Trainings an virtuellen Modellen liegt in der Einsparung von "realen Maschinenzeiten" für Ausbildungszwecke.

## 4 Dienstleistungsangebote des VDTC

Das in Magdeburg entstehende Virtual Development and Training Centre (VDTC) wird als Plattform zur Bereitstellung der technologischen Infrastruktur und des Know-How seiner Spezialisten zur Nutzung von virtuellen Technologien fungieren [Sch03]. Mit modernsten Methoden lassen sich im VDTC maßgeschneiderte technische Lösungen bereits vor ihrer realen Entwicklung visualisieren. Direkt an den Bedürfnissen des Auftraggebers orientiert werden interaktive Simulationen und Visualisierungen für die virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung und somit produktlebenszyklusübergreifende VR-Lösungen erarbeitet.

Die Entwicklung des Centers am ortsansässigen Fraunhofer IFF sowie die enge Kooperation mit der Otto-von-Guericke Universität bilden gute Voraussetzungen, um die Region Magdeburg zu einem europäischen High-Tech-Standort auszubauen. Als Knotenpunkt für die Region Mitteldeutschland - Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen - soll die Vernetzung Synergien wecken und neue Potentiale generieren: Für Innovation, Wirtschaft und Bildung.

Der Baubeginn für das VDTC erfolgt 2004. Mit der Fertigstellung wird 2005/06 gerechnet. Zum Dienstleistungsangebot gehören:

- Virtuelle Modelle von Maschinen und Anlagen zur Präsentation von innovativen Lösungen
- Visuell-interaktive Simulation zur Entwicklung und Testung von Maschinen und Anlagen
- Training von Bedienern, Instandhaltungs- und Servicetechnikern an VR-basierten Trainingssystemen
- Visuell Interaktive Dokumentationssysteme für komplexe technische Produkte
- Globale Nutzung virtueller Entwicklungs- und Trainingsplattformen auf Basis moderner IuK-Technologien

Die Arbeitsgebiete des VDTC werden sich an den Erfordernissen der Unternehmen, Institutionen und Einrichtungen ausrichten.

Im folgenden sind einige bereits abgeschlossene Projektbeispiele aufgeführt, die demonstrieren, wo VR-Technologien bereits heute erfolgreich angewendet wurden. Die Beispiele stammen aus dem Projekt ProDiMA<sup>1</sup>, welches mit Mitteln des Landes Sachsen-Anhalt und der Europäischen Union gefördert wurde.

---

<sup>1</sup> ProDiMa: Produkte und Dienstleistungen unter Nutzung von VR-Technologien für kleine und mittlere Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus.

### **Produktpräsentationen**

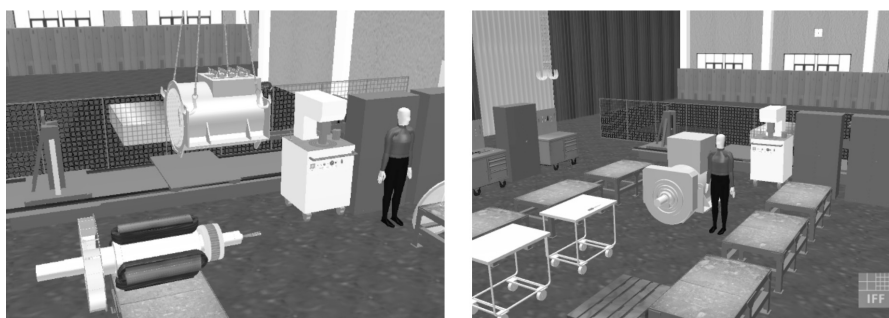
In der Marketingphase und als Vertriebsunterstützung kann VR effektiv die Präsentation komplexer Maschinensystem (siehe Bild 6) unterstützen. So können nicht nur potentielle Kunden die Maschine aus beliebigen Blickwinkeln inspizieren, sondern es kann auch die komplexe Funktionalität klar dargestellt werden. Hier haben VR-Präsentationen einen klaren Vorteil gegenüber Video-Präsentationen, da sie kundenindividuelle Vorführungen und Interaktionen erlauben.



**Bild 6:** VR-Visualisierung eines Schiffsentladers

### **Montagevisualisierung**

In einen Teilprojekt von ProDiMA wurde untersucht, ob ein Produkt unter den spezifischen Platzbeschränkungen und Rahmenbedingungen des Endkunden montiert werden konnte (Bild 7). Hierzu wurde eine Visualisierung der Montage geleistet, die sowohl zur Platzevaluierung, als auch zum Training des Montagepersonals genutzt wurde.



**Bild 7:** VR-Visualisierung einer Montage

### **Virtueller Prototyp**

Durch virtuelle Prototypen entsteht die Möglichkeit, bislang voneinander unabhängige Systemkomponenten in ihren Verhaltensweisen zu testen. Durch die dreidimensionale Darstellung und die interaktive Führung steht allen Entwicklungspartnern zum gleichen Zeitpunkt ein entsprechendes hochwertiges Modell zur Verfügung, das die einzelnen Entwicklungsleistungen der Partner in seiner Gesamtheit visualisiert.

Virtuelle Prototypen tragen zur Fehlerfrüherkennung bei. Darüber hinaus werden durch Critical Design Reviews dem Vertrieb, Ingenieuren und Designern Hilfen in die Hand gegeben, mit denen sie einfacher über Konstruktionsvarianten, Fertigungstechnik, Modellpolitik, Bedienung und Ergonomie entscheiden können (Bild 8).



**Bild 8:** Explosionsdarstellung der Komponenten und virtuelles Gesamtmodell des Harvesters

Auch kleine und mittelständische Unternehmen profitieren von der virtuellen Technologie. So konnten zum Beispiel bei einem regionalen Hersteller für Harvester (TBM Annaburg, Sachsen-Anhalt) während der Entwicklung Verbesserungen an der Krankinematik und an der Fahrerkabine vorgenommen werden, obwohl die Komponenten bzw. Aggregate an unterschiedlichen Standorten (Finnland, Schweden, Deutschland/Sachsen-Anhalt) entwickelt wurden. Die zusammengeführten Komponenten konnten erfolgreich virtuellen Funktionstests unterzogen werden (Bild 9).



**Bild 9:** Virtueller Test der Harvester Kransteuerung (linkes Bild) sowie verschiedene Designvorschläge

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Der richtige und konsequente Einsatz von VR-Technologien kann entscheidende Beiträge zur Verkürzung des Produktlebenszyklus leisten. Produkte, die unter Nutzung virtueller Verfahren entwickelt werden, haben erreichen durch frühzeitige digitale Absicherung eine hohe Planungsqualität. Durch frühzeitige Berücksichtigung der Auswirkung der Produktgestaltung auf die spätere Produktion (z.B. durch montagegerechte Produktgestaltung) und durch Einsatz von VR-Technologien zur Prozessgestaltung kann eine effiziente Produktion gewährleistet werden.

Das in Magdeburg entstehende Virtual Development und Training Centre (VDTC) wird die Infrastruktur und das Know-how für VR-basierte Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen auf den Gebieten virtueller Entwicklungs-, Test- und Trainingsumgebungen für komplexe Maschinen, Anlagen und Systeme bereitstellen.

Unternehmen können von den Möglichkeiten virtueller Technologie schon heute profitieren. Das Fraunhofer IFF bietet solche Dienstleistungen bereits für regionale, nationale und internationale Kunden an. Das VDTC hat sich zur Aufgabe gestellt, auf der Basis von modularen standardisierten Bausteinen durch Nutzung relevanter Verfahrenstechnologien kostengünstig und zeitnah anwenderspezifische virtuelle Lösungen anzubieten, die über Nutzung der modernen Kommunikationstechnologien weltweit verfügbar sind.

## **Referenzen**

- [Gro01] Grote, K.-H., B. J. Torby, I. Kimura. Rapid Systematic Product Design. In: Proceedings of DETC'00: ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Baltimore, Maryland, September 10-13, 2000.
- [Hin99] Hintze A., Schumann M., Stüring S., Verteilte virtuelle Trainingsanwendungen für die Ausbildung von Wartungs- und Instandhaltungspersonal. In: Oliver Deussen, Volkmar Hinz, Peter Lorenz, (Hrsg.), Proceedings der Tagung "Simulation und Visualisierung '99" der Universität Magdeburg Institut für Simulation und Graphik, 4.-5.März 1999, S. 275-286, The Society for Computer Simulation Internation, Ghent.

- [Hin00] Hintze A., Schumann M., Stüring S., Interaktive Szenarien für die Ausbildung von Wartungs- und Instandhaltungspersonal. In: Thomas Schulze, Peter Lorenz, Volkmar Hinz, (Hrsg.), Proceedings der Tagung "Simulation und Visualisierung 2000" am Institut für Simulation und Graphik der Universität Magdeburg, 23.-24. März 2000, S. 225-237, The Society for Computer Simulation International, Ghent.
- [Sch03] Schenk, M. Virtual Reality und Simulation - Perspektiven für Entwicklung, Test und Training in der Industrie. In: Hohmann, R. (Ed.), Proceedings of the 17th Simulation Symposium ASIM 2003. Sep. 16-19, 2003. SCS Publishing House.
- [Str03] Straßburger, S.: HLA als Basis eines Simulationsbackbones für die Digitale Fabrik. In: Hohmann, R. (Ed.), Proceedings of the 17th Simulation Symposium ASIM 2003. Sep. 16-19, 2003. SCS Publishing House, pp. 355-360.

